

GUSTAVO BARBOSA ATHAYDE

**COMPARTIMENTAÇÃO HIDROESTRUTURAL DO SISTEMA AQUIFERO SERRA
GERAL (SASG) NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor. Curso de Geologia (Área de Concentração: Geologia Ambiental) Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Ernani F. da Rosa Filho

Co - Orientadores:

Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi

Prof. Dr. Otavio Augusto Boni Licht

CURITIBA

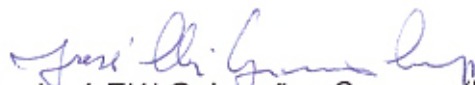
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

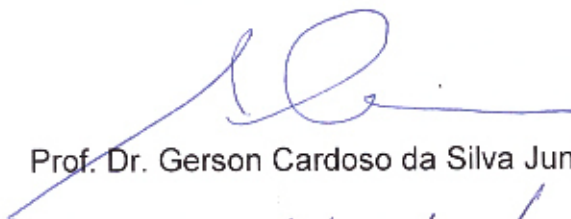
GUSTAVO BARBOSA ATHAYDE

“Compartimentação hidroestrutural do sistema aquífero Serra Geral (SASG) no Estado do Paraná, Brasil”

Tese de doutorado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:



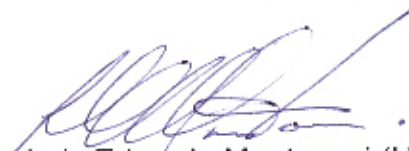
Prof. Dr. José Elói Guimarães Campos (UnB)



Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Junior (UFRJ)



Prof. Dr. Eduardo Salamuni (UFPR)



Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani (UFPR)



Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho (UFPR)
Presidente

Curitiba, 30 de abril de 2013

Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas.

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho, pela orientação no programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, e pela oportunidade de trabalhar com as amostras do Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas – LPH / UFPR.

Em especial ao Prof. Dr. Otavio Augusto Boni Licht pela orientação, revisão, por compartilhar seu conhecimento e todo o apoio durante esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Eduardo Chemas Hindi pelas revisões e conversas durante a elaboração desta tese.

Ao Prof. M.Sc. Fernando Mancini, pela oportunidade de iniciar o doutoramento em 2009 como bolsista em projeto de pesquisa sob sua coordenação. O aprendizado durante os dias de campo no Tocantins e no LABAP compararam-se a livros lidos de geologia estrutural e mapeamento geológico.

Aos colegas “saneparianos” da Unidade de Serviços em Hidrogeologia – USHG / SANEPAR, pela convivência durante 16 meses deste doutorado. O período que trabalhei na Sanepar contribuiu significativamente no meu conhecimento a respeito dos aspectos operacionais e peculiaridades dos aquíferos paranaenses. Agradeço também pelas informações hidrodinâmicas referentes aos poços tubulares profundos aqui estudados.

Aos amigos e colegas geólogos Dr. Leonardo Fadel Cury, M.Sc. Luis Gustavo de Castro, Dr. Daniel Fabian Bettú e Dr. Ana Paula Soares, pelas proveitosas discussões, troca de idéias e informações, assim como, pelo convívio durante esses anos de geologia.

Aos meus pais, José Nogueira Athayde e Rosangela Moreira Barbosa Athayde, pelos ensinamentos de vida e apoio incondicional durante todo meu aprendizado. Agradeço também a Thais e ao Fabio meus irmãos queridos.

Esta pesquisa não teria sido possível sem o apoio e participação da geóloga Camila de Vasconcelos Müller Athayde. Seu apoio foi fundamental nas questões científicas e principalmente pelo carinho e ajuda nos momentos em que pensei ser impossível concluir esta tese.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Hipóteses.....	3
1.2 Justificativas.....	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivos Específicos	5
1.3 Estrutura da Tese.....	5
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O SASG.....	7
2.1 Aspectos geológicos regionais do Sistema Aquífero Serra Geral.....	7
2.2 O Magmatismo Serra Geral.....	11
2.3 Características gerais de aquíferos vulcânicos.....	14
2.4 Aspectos hidrogeológicos regionais do Sistema Aquífero Serra Geral.....	16
2.4.1 O SASG no Estado de Mato Grosso do Sul	17
2.4.2 O SASG no Estado de São Paulo	17
2.4.3 O SASG no Estado de Santa Catarina.....	18
2.4.4 O SASG no Estado de Rio Grande do Sul.....	18
2.4.5 O SASG no Estado do Paraná.....	19
2.4.5.1 Relações de contato do SASG no Estado do Paraná.....	21
2.4.5.3 Rede de drenagem e bacias hidrográficas do estado do Paraná.....	23
2.4.5.4 Pluviosidades regionais sobre o SASG no Estado do Paraná.....	24
2.4.5.2 Aspectos geomorfológicos regionais do SASG no Estado do Paraná	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 Base de Dados.....	28
3.1.1 Limite do SASG no Estado do Paraná.....	28
3.1.2 Base Altimétrica.....	28
3.1.3 Poços tubulares profundos.....	29
3.1.4 Índices de produção dos poços tubulares profundos: vazão de exploração e capacidade específica.....	31
3.2 Análise estatística e aplicação cartográfica dos dados hidrogeológicos.....	31
3.3 Compartimentação Hidroestrutural do SASG no Estado do Paraná.....	33
3.3.1 Mapa aeromagnetométrico.....	33
3.3.2 Arcabouço estrutural do topo do Aquífero Guarani	35
3.3.3 Traçados multiescala de lineamentos.....	36
3.4 Condicionantes exploratórios do SASG no Estado do Paraná.....	37
3.4.1 Proximidade do poço tubular ao Arcabouço Estrutural	37
3.4.2 Espessura de solo e índices de produção.....	37
3.4.3 Análise direcional multiescala	38
3.4.3.1 Implicações tectônicas nos índices de produção dos poços tubulares profundos	38
3.4.4 Densidade de lineamentos	41
3.4.5 Geomorfologia regional	42
3.5 Mapa Potenciométrico do SASG no Estado do Paraná.....	42

3.6	<i>Espessura do SASG</i>	43
3.7	<i>Análise hidroquímica do SASG no Estado do Paraná</i>	43
3.7.1	Relações iônicas	43
3.7.2	Classificação química das águas.....	45
3.7.3	Aptidão das águas para consumo in natura.....	46
3.7.4	Aptidão das águas para irrigação	46
3.7.4	A questão da mistura de águas com o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná	47
4.	RESULTADOS	51
4.1	<i>Aspectos gerais do SASG</i>	51
4.1.1	Características hidrogeológicas dos poços tubulares profundos.....	51
4.1.1.1	Vazão de produção.....	56
4.1.1.2	Capacidade específica	58
4.1.2	Divisores subterrâneos e potenciometria	60
4.1.3	Espessura do SASG no Estado do Paraná.....	63
4.1.4	Arcabouço estrutural do SASG paranaense	65
4.2	<i>Províncias e compartimentos Hidroestruturais</i>	72
4.2.1	Províncias Hidroestruturais do SASG	72
4.2.2	Compartimentos Hidroestruturais do SASG no Estado do Paraná	74
4.3	<i>Condicionantes exploratórios do SASG no Estado do Paraná</i>	81
4.3.1	Proximidade do arcabouço geológico estrutural	81
4.3.2	Espessura de solo e produtividade dos poços tubulares profundos	83
4.3.3	Análise azimuthal e tectônica	85
4.3.3.1	Implicações tectônicas na produtividade dos poços.....	89
4.3.4	Densidade de lineamentos e produtividade dos poços.....	90
4.3.5	Geomorfologia regional	92
4.4	<i>Análise hidroquímica do SASG no Estado do Paraná</i>	99
4.4.1	Influência da profundidade de circulação na química da água subterrânea.....	101
4.4.2	Classificação química das águas.....	103
4.4.3	Relações iônicas e dedução sobre a origem dos elementos	108
4.4.3.1	Relações iônicas e fluxo do aquífero	110
4.4.4	Predomínios químicos nos Compartimentos Hidroestruturais	112
4.4.5	Aptidão das águas in natura para consumo humano	126
4.4.6	Aptidão das águas do SASG para irrigação	129
4.4.7	A questão da mistura de águas com o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná	133
4.4.7.1	Relações potenciométricas regionais	133
4.4.7.2	Localização e quimismo dos poços com possibilidade física de mistura de águas.....	137
4.4.7.3	Classificação das águas do Sistema Aquífero Guarani	139
4.4.7.4	Caracterização das zonas regionais de mistura de águas	142
5.	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	144
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	147
7.	REFERENCIAS	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Bacia Sedimentar do Paraná, com destaque para a Fm. Serra Geral e em vermelho o Estado do Paraná.	1
Figura 2: Municípios paranaenses e mananciais utilizados no abastecimento pela SANEPAR.....	4
Figura 3: Organização dos capítulos apresentados na tese.....	6
Figura 4: Localização da Bacia Sedimentar do Paraná no Brasil.	7
Figura 5: Seção sísmica com o “rifte central” de Marques <i>et al.</i> (1993), com a interpretação do autor.	8
Figura 6: Bacia do Paraná em território brasileiro com as isolinhas de profundidade do embasamento e posição das supersequências de deposição.....	9
Figura 7: Bacia do Paraná em território brasileiro com as isolinhas de profundidade do embasamento, localizado a posição das supersequências de deposição.	9
Figura 8: Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná.	10
Figura 9: Fotografias dos diferentes litotipos: Brecha vulcanoclástica (A), basaltos vesiculares (B e C) e maciços (D) encontrados na área de estudo. Fotografias do autor na pedreira municipal de Toledo – PR.....	13
Figura 10: Síntese do modelo dos processos hidrovolcânicos para a Formação Serra Geral na Bacia do Paraná.....	14
Figura 11: Modelo de circulação no aquífero Serra Geral.	17
Figura 12: Unidades aquíferas do Estado do Paraná.....	19
Figura 13: Número de outorgas concedidas pela SUDERHSA por unidade aquífera até o ano de 2005.....	20
Figura 14: Unidades Aquíferas em contato com o SASG no Estado do Paraná.....	21
Figura 15: Relações de contato entre o Aquífero Caiuá e o SASG no Estado do Paraná.....	21
Figura 16: Perfis hidrogeológicos propostos por Hindi (2007) onde se ilustra o contato lateral entre os SASG e SAG no Estado do Paraná.....	22
Figura 17: Bacias hidrográficas do estado do Paraná, modificado de SUDERHSA (1998).	23
Figura 18: Vazões médias em pequenas bacias do estado do Paraná, SUDERHSA (1998).	24
Figura 19: Mapa com a distribuição das estações meteorológicas do Paraná, indicando o volume anual precipitado. (serie histórica entre 1977 e 2006).....	25
Figura 20: Mapa geomorfológico do SASG no Estado do Paraná.....	26
Figura 21: imagem .bil obtida do projeto SRTM, com gradação de cores para a altimetria do relevo.....	29
Figura 22: Poços tubulares profundos utilizados nesta pesquisa.	30
Figura 23: Representação das etapas de trabalho para aplicação cartográfica dos estimadores estatísticos.....	32
Figura 24: Representação da legenda utilizada nos mapas, subsidiada pelos estimadores estatísticos.....	32
Figura 25: Representação esquemática das etapas de trabalho para elaboração do arcabouço estrutural e Compartimentos Hidroestruturais do SASG.	33
Figura 26: Mapa aeromagnético (campo total) do Estado do Paraná, com destaque para o SASG.....	34

Figura 27: Mapa do contorno estrutural, topo da Formação Botucatu e área de afloramento do SASG no Estado do Paraná.	35
Figura 28: MDE utilizado no traçado dos lineamentos estruturais, com área de afloramento do SASG sombreada.	36
Figura 29: Cronologia dos principais eventos tectônicos identificados na região de Campinas, Estado de São Paulo.	39
Figura 30: Mapa do continente sul-americano e dados do projeto <i>World Stress Map</i>	40
Figura 31: Célula e o círculo de análise correspondente; L1 e L2 correspondem porções de segmentos de retas (neste caso lineamentos) localizados no interior do círculo.	41
Figura 32: Fluxograma esquemático para dedução simplificada da rocha / minerais fonte dos elementos dissolvidos na água. Fonte: [modificado de Hounsflow (1995)].	45
Figura 33: Mapa da altitude do nível estático no SAG paranaense (Hindi, 2007).	48
Figura 34: Mapa da profundidade da água no SAG paranaense (Hindi, 2007).	49
Figura 35: Perfil hidrogeológico esquemático ilustrando a possibilidade de mistura de águas entre o SASG e o SAG no oeste paranaense.	50
Figura 36: Histograma com os dados de profundidade dos poços tubulares utilizados nesta pesquisa.	52
Figura 37: Gráficos de correlação entre a profundidade dos poços e os índices de produção: vazão (gráfico superior) e capacidade específica (gráfico inferior)	53
Figura 38: Histograma com a distribuição do número de poços em função da profundidade da entrada de água mais profunda do poço	54
Figura 39: Gráficos de correlação entre os índices de produção e a profundidade da entrada de água no poço tubular. Gráfico superior apresenta a correlação com a vazão e o inferior com a capacidade específica.	55
Figura 40: Histograma das amostras coletadas no SASG para o parâmetro vazão.	56
Figura 41: Gráfico com a análise numérica do parâmetro vazão, em escala logarítmica.	56
Figura 42: Mapa com a distribuição espacial do parâmetro vazão (m^3h^{-1}).	57
Figura 43: Histograma das amostras coletadas no SASG para o parâmetro capacidade específica.	58
Figura 44: Gráfico com a análise numérica do parâmetro capacidade específica, em escala logarítmica.	58
Figura 45: Mapa com a distribuição espacial do parâmetro capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).	59
Figura 46: Modelo de fluxos subterrâneos regionais e locais proposto por Arrais e Campos	61
Figura 47: Mapa potenciométrico “virtual” do SASG no Estado do Paraná.	62
Figura 48: Poços perfurados até o SAG com indicação da espessura da Fm. Serra Geral no Estado do Paraná.	64
Figura 49: Lineamentos aeromagnéticos interpretados.	65
Figura 50: Lineamentos extraídos do contorno estrutural do topo da Fm. Botucatu, modificado de Soares (2007).	66
Figura 51: Lineamentos traçados escala 1: 2.500.000 e diagrama de rosetas correspondente (comprimento).	67
Figura 52: Lineamentos traçados escala 1:600.000 000 e diagrama de roseta correspondente (comprimento).	68

Figura 53: Integração dos lineamentos estudados na definição do arcabouço estrutural do SASG no Estado do Paraná.....	69
Figura 54: Arcabouço estrutural do SASG no Estado do Paraná.	71
Figura 55: Subdivisão regional do SASG considerando o parâmetro vazão.	72
Figura 56: Subdivisão regional do SASG considerando o parâmetro capacidade específica.....	73
Figura 57: Comparação entre vazões acima do 3º quartil e o arcabouço estrutural....	74
Figura 58: Comparação entre arcabouço estrutural e capacidade específica acima do 3º quartil.....	75
Figura 59: Compartimentos Hidroestruturais, com indicação dos poços por compartimento.	79
Figura 60: Faixas de valores de capacidade específica (em logaritmo) e vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) dos poços provenientes dos diferentes compartimentos hidrogeológicos. ..	80
Figura 61: Proximidade dos poços ao arcabouço estrutural, escala 1:2.500.000.	82
Figura 62: Proximidade dos poços aos lineamentos traçados, escala 1:600.000.	82
Figura 63: espessura de solo nos poços perfurados – SASG.	83
Figura 64: Gráficos de correlação entre espessura de solo e parâmetros de produtividade dos poços tubulares (capacidade específica gráfico superior, vazão gráfico inferior).	84
Figura 65: Lineamentos traçados na escala 1:600.000 e poços tubulares profundos..	85
Figura 66: Gráficos com os valores de capacidade específica e vazão, separados segundo intervalos de 10º de azimuth.	86
Figura 67: Gráfico com as vazões médias dos poços tubulares separadas por direções azimutais de lineamentos para a área da BP3 (gráfico superior) e considerando todo o SASG (gráfico inferior).	87
Figura 68: Imagem LANDSAT 7 da área da BP3, na escala 1:25.000 com os poços tubulares e lineamentos traçados.	88
Figura 69: Gráfico comparativo entre as análises na escala 1:600.000 e 1:25.000 na BP3.....	89
Figura 70: roseta com os valores de capacidade específica dos poços separados em intervalos de 10º de azimuth (referentes ao lineamento traçado). As setas indicam os azimutes de máxima tensão tectônica obtidos por diferentes autores.....	90
Figura 71: faixa de variação dos valores de densidade de lineamentos.....	91
Figura 72: Mapa da densidade dos lineamentos e poços representando a capacidade específica, destacados em tons de laranja os valores de densidade acima do terceiro quartil.	92
Figura 73: Gráfico de correlação entre a dissecação e a capacidade específica dos poços (capacidade específica em logaritmo).	93
Figura 74: Gráfico de correlação a condicionante geomorfológica forma do topo e a capacidade específica dos poços.	94
Figura 75: Gráfico de correlação entre a forma das vertentes e a capacidade específica dos poços.	95
Figura 76: Gráfico de correlação entre a forma dos vales e a capacidade específica dos poços.	96
Figura 77: Sub-unidades geomorfológicas agrupadas segundo potencialidades hidrogeológicas.....	98
Figura 78: Histograma com os valores de DBI em % dos 337 poços tubulares.....	99
Figura 79: Gráfico de correlação entre as variáveis STD e pH.....	101

Figura 80: Gráficos de correlação dos parâmetros STD (superior) e pH (inferior) com a profundidade da entrada de água.	102
Figura 81: Gráfico de correlação entre o sódio e a profundidade de entrada de água.	103
Figura 82: Diagrama de Piper com as amostras coletadas no SASG.	104
Figura 83: Tipos de água classificados nas amostras coletadas no SASG.	104
Figura 84: Mapa com a distribuição dos tipos de água classificados para o SASG... ..	105
Figura 85: Gráfico com os tipos de água classificados em cada compartimento.....	107
Figura 86: Diagrama de Piper representado a mediana das concentrações em cada compartimento. A seta vermelha indica o sentido de evolução das águas.	108
Figura 87: Correlação entre as concentrações de SiO_2 e Mg^{+2} nas águas do SASG.	109
Figura 88: Distribuição espacial da relação iônica bicarbonato / cloreto (figura superior) e distribuição espacial dos sólidos totais dissolvidos (figura inferior).....	111
Figura 89a: Faixas de variação de concentrações físico-químicas separadas por compartimentos. Destaque para <i>box plot</i> com todas as amostras do SASG.	114
Figura 90: Distribuição espacial do cálcio.	119
Figura 91: Distribuição espacial do magnésio.	119
Figura 92: Distribuição espacial do sódio.	120
Figura 93: Distribuição espacial do potássio.	120
Figura 94: Distribuição espacial do bicarbonato.	121
Figura 95: Distribuição espacial do carbonato.	121
Figura 96: Distribuição espacial do cloreto.	122
Figura 97: Distribuição espacial do sulfato.	122
Figura 98: Distribuição espacial da sílica.	123
Figura 99: Distribuição espacial do fluoreto.	123
Figura 100: Distribuição espacial do nitrato.	124
Figura 101: Distribuição espacial do pH.	124
Figura 102: Distribuição espacial da dureza.	125
Figura 103: Distribuição espacial da condutividade elétrica.	125
Figura 104: Distribuição espacial da temperatura.	126
Figura 107: Mapa integrado com a localização dos poços com teores acima dos VMP's.	128
Figura 108: Classificação das águas para irrigação no SASG.	130
Figura 109: Espacialização dos dados do diagrama de SAR para o SASG.	132
Figura 110: Localização dos perfis hidrogeológicos esquemáticos.	134
Figura 111: Perfil hidrogeológicos esquemático, linha vermelha na Figura 110.	135
Figura 112: Perfil hidrogeológicos esquemático, (linha preta na Figura 110).	136
Figura 113: Perfil hidrogeológicos esquemático, linha verde na Figura 110.	136
Figura 114: Poços que captam o SASG e possuem cota altimétrica do nível estático inferior a 400 m.s.n.m. Em vermelho, a cota 400 metros referente a potenciometria virtual do SAG proposta por Hindi (2007).	137
Figura 115: Mapa dos poços com potenciometria e quimismo indicando a mistura de águas entre o SAG e o SASG.	138
Figura 116: Diagrama de Piper das amostras coletadas no SAG.	139
Figura 117: Tipos de água classificados nas amostras coletadas no SAG.	140

Figura 118: Mapa com a distribuição dos tipos de água classificados para o SAG. ...	141
Figura 119: Localização dos poços (em vermelho) com indícios de mistura de águas.	143
Figura 120: Modelo esquemático de como as estruturas subverticais potencializam o reservatório.	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vazão dos poços tubulares profundos locados na Fm. Serra Geral, separados por bacias hidrográficas.....	20
Tabela 2: Descrição das principais unidades Geomorfológicas do SASG no Paraná (modificado de Mineropar, 2006a).	27
Tabela 3: Percentis das variáveis hidrodinâmicas do SASG no Paraná.....	51
Tabela 4: Estatística univariada dos valores de vazão (m^3h^{-1}).	56
Tabela 5: Estatística univariada dos valores de capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).	58
Tabela 6: Comparação entre as Províncias Hidroestruturais Jacutinga Noroeste e Sudeste	73
Tabela 7: Análise estatística da vazão (m^3h^{-1}) dos poços tubulares profundos separados por Compartimentos Hidroestruturais	77
Tabela 8: Análise estatística da capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$) dos poços tubulares profundos separados por Compartimentos Hidroestruturais.	78
Tabela 9: valores da mediana da capacidade específica e vazão, separados por escala de análise e distância dos lineamentos.....	81
Tabela 10: Condicionantes geomorfológicos analisados e os valores da mediana de vazão e capacidade específica dos poços tubulares profundos.	97
Tabela 11: Percentis das variáveis, os quais subsidiam a escala em cores dos mapas hidroquímicos da Formação Serra Geral no Paraná.	100
Tabela 12: Médiana das concentrações dos diferentes íons, separados por compartimentos Hidroestruturais.	107
Tabela 13: Íons com concentrações acima dos VMP.....	126
Tabela 14: Classificação das águas para irrigação no SASG.	129
Tabela 15: Classificação em relação à salinidade.....	131
Tabela 16: Classificação em relação ao risco de sódio.....	131

LISTA DE ABREVIATURAS

BP3	Bacia Hidrográfica do Paraná 3
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
LPGA	Laboratório de Pesquisas e Geofísica Aplicada
LPH	Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas
MINEROPAR	Serviço Geológico do Estado do Paraná
m.s.n.m.	Metros sobre o nível do mar
NASA	Agencia espacial americana
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Estado do Paraná
SAR	<i>Sodium Adsorption Ratio</i>
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDERHSA	Atual Instituto das Águas do Estado do Paraná – Águas Paraná
UFPR	Universidade Federal do Paraná
VMP	Valores Máximos Permitidos
WSM	<i>World Stress Map</i>

RESUMO

Os resultados desta pesquisa indicam que o Sistema Aquífero Serra Geral é um importante manancial subterrâneo para o Estado do Paraná. Foram utilizados dados de produção, e coletadas amostras de água para análise físico-química em 337 poços tubulares profundos que operam no abastecimento público de 300 municípios paranaenses. O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar e cartografar o Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná, mediante seus aspectos hidrodinâmicos e hidroquímicos regionais. Esta caracterização visa subsidiar com informações científicas projetos voltados à utilização dos mananciais subterrâneos. A análise das curvas potenciométricas permitiu identificar a coincidência geográfica, em escala regional, entre os divisores de água superficiais e subterrâneos. Considerando toda extensão do aquífero no estado do Paraná, o fluxo subterrâneo regional dá-se de leste para oeste, sentido às áreas de descarga situadas nas regiões oeste e noroeste, junto aos rios Paraná (principal área de descarga regional) e Paranapanema, respectivamente. Poços tubulares profundos que interceptam descontinuidades tectônicas e atectônicas saturadas em água, possuem mediana da capacidade específica de $1,54 \text{ m}^3 \text{ h m}^{-1}$ e vazão mediana de $20,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. As estruturas que compõem o arcabouço estrutural do SASG aqui proposto possuem elevadas profundidades ($\geq 1\text{km}$) e conectam diferentes estruturas sub-horizontais atectônicas, características de derrames basálticos, como contatos entre derrames, zonas de cavidades, zonas brechadas. Estas estruturas representam entradas de água no poço e onde estão concentrados os fluxos preferenciais no aquífero. Duas Províncias Hidroestruturais foram propostas a partir do zoneamento quantitativo das vazões e capacidade específica. Poços mais produtivos localizam-se a noroeste do Lineamento Jacutinga e os menos produtivos a sudeste. Quatro “Compartimentos Hidroestruturais” foram delimitados a partir do detalhamento das duas Províncias Hidroestruturais. Poços tubulares perfurados em regiões com fraturamento regional (1:600.000) nas direções norte-sul e leste – oeste, tendem a ser mais produtivos segundo os dados considerados neste modelo. Tais direções são associadas a eventos tectônicos recentes que atuaram e atuam na placa sul-americana, ocorridos próximo ao Estado do Paraná. Este fato reflete a importância do estudo tectônico e estrutural na locação de poços em aquíferos fraturados. A proximidade à estrutura geológica e aspectos geomorfológicos regionais como topos alongados e aplainados; vertentes retilíneas e côncavas na base; vales em calha; vales em V e vales em V encaixados estão associados a poços com bons índices de produção. Do total de 337 amostras de água analisadas, predominaram águas do tipo bicarbonatada cálcica (198 amostras); secundariamente águas bicarbonatadas sódicas (50 amostras); seguidas por águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas (25 amostras), carbonatadas sódicas (23 amostras), bicarbonatada cálcio-sódica (19 amostras), bicarbonatadas sódio-cálcicas (13 amostras). Em menor quantidade ocorrem os seguintes tipos hidroquímicos: bicarbonatada sulfatada-sódica; bicarbonatada-carbonatada sódica; sulfatada sódica; bicarbonatada magnésio-cálcica; bicarbonatada nitrato-sódica e nitratada cálcio-sódica. As relações iônicas sugerem o predomínio da alteração de silicatos, sendo que a relação Na/Ca sinaliza para a existência de intemperismo de plagioclásio cálcico, concordante com a mineralogia essencial dos basaltos (plagioclásio

cálcico e piroxênio do tipo augita). É importante ressaltar que deve ser considerada a hipótese de mistura de águas entre o SASG e o SAG apenas quando existe condição potenciométrica favorável. Ainda que a potenciometria seja favorável à mistura de águas, o enriquecimento por si em sódio, pH, sulfato, dentre outros, pode ter origem na dissolução dos minerais de preenchimento das fraturas, ou zonalidades geoquímicas dos basaltos. Nestes casos a temperatura das águas pode ser um parâmetro importante na identificação de áreas com misturas de águas. Os resultados aqui apresentados tornam a exploração do SASG paranaense mais previsível, de modo que as empresas de abastecimento público ou empresas privadas interessadas nas águas deste aquífero possam investir com mais segurança seus recursos.

ABSTRACT

The results of this research indicate that the Serra Geral Aquifer System is an important groundwater resource for the State of Paraná. Data of production, and water samples was collected for physicochemical analysis in 337 deep wells that operate in the public supply of 300 municipalities of State of Paraná. The aim of this study was to characterize and map the Serra Geral Aquifer System in the State of Paraná, through its regional hydrochemical and hydrodynamic aspects. This characterization is intended to subsidize with science groundwater projects. The potentiometric curve analysis identified the geographic coincidence, on a regional scale, between surface water and groundwater basins. Considering the full extent of the aquifer in the state of Paraná, the regional groundwater flow occurs from east to west, towards the discharge areas located in the west and northwest, along the rivers Parana (principal discharge area regional) and Paranapanema, respectively. Deep wells intersecting discontinuities saturated in water, have median specific capacity of $1.54 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}$ and average flow rate of $20.6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. The structures of the SASG proposed here have high depths ($\geq 1\text{km}$) and connect different sub-horizontal structures, characteristics of basalt flows. These structures represent inputs of water in the well and where flows are concentrated in the aquifer. Two Hydrostructural Provinces were proposed from the quantitative zoning well flows and specific capacity. Most productive wells are located northwest of Jacutinga Lineament and the least productive southeast. Four "Hydrostructural Compartments" were delimited using the Hydrostructural Provinces. Wells drilled in regions with regional fracturing (1:600.000) directions to north-south and east - west, tend to be more productive according to the data considered in this model. These directions are associated with recent tectonic events that have acted and act in the South American plate, which occurred near the state of Paraná. This fact reflects the importance of tectonic and structural study on location of water wells in fractured aquifers. The proximity to geological structure and geomorphological aspects as regional elongated and flattened tops; strands straight and concave base; valleys and valleys in V are associated with good production rates. A total of 337 water samples were analyzed, there is a predominance of calcium bicarbonate-type waters (198 samples); secondarily sodium bicarbonate waters (50 samples), followed by calcium-magnesium bicarbonate waters (25 samples), sodium carbonate (23 samples), calcium bicarbonate -sodium (19 samples), sodium bicarbonate-calcic (13 samples). In less numbers occur the following types: sulfated sodium bicarbonate, sodium bicarbonate-carbonate; sulfated sodium, magnesium-calcium bicarbonate, sodium bicarbonate and nitrate-sodium-calcium nitratada. Major ion suggest the predominance of geochemical weathering of silicates, and the Na / Ca indicates the existence of calcic plagioclase weathering, consistent with the mineralogy of basalts (calcic plagioclase and pyroxene augite type). Importantly, should be considered hypothesis-water mixture between SAG and SASG only when potentiometric favorable condition. In these cases the water temperature can be an important parameter in identifying areas with mixtures of water. The results presented here make the exploitation of the SASG more predictable, with less risk of investing resources.

1. INTRODUÇÃO

Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é a denominação utilizada para referir-se ao aquífero fraturado de origem vulcânica, representado pelas propriedades petrofísicas da Fm. Serra Geral, que ocorre, dentre outros estados, no terceiro planalto paranaense (Figura 1).

A área de ocorrência do SASG no Paraná corresponde a aproximadamente 109.000 km², as espessuras máximas atingem até 1.347 m no município de Cianorte - PR.

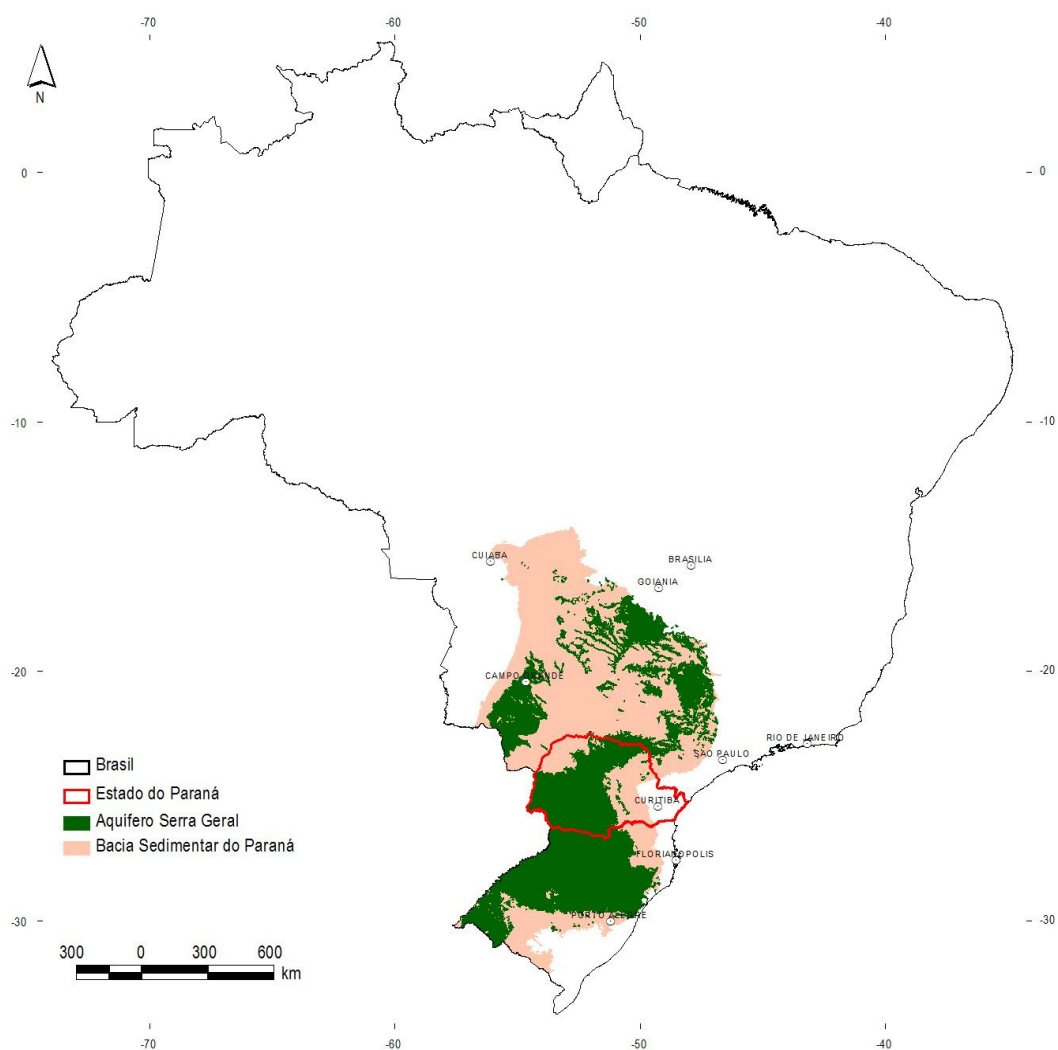


Figura 1: Localização da Bacia Sedimentar do Paraná, com destaque para a Fm. Serra Geral e em vermelho o Estado do Paraná.

O SASG faz parte da Província Hidrogeológica Paraná de CPRM (2000) e se destaca pelo número de poços em operação utilizados para abastecimento público. A exploração dos poços do SASG atende também demandas de indústrias, hotéis, minerações, hospitais, que em alguns casos são utilizados para irrigação agrícola em épocas de prolongada estiagem.

No Estado do Paraná o SASG é responsável pelo abastecimento de 300 municípios, mediante 493 poços tubulares profundos. Em 2010 o volume produzido (75.096.607 m³) representou 60,74 % da água subterrânea captada no Estado do Paraná pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Isso alcança um abastecimento potencial de 1.128.773 habitantes, considerando 30% de perdas no sistema de distribuição.

A anisotropia estrutural do SASG representa os registros atectônicos do ambiente deposicional vulcânico (derrames, fluxos piroclásticos, fluxos subaquosos, em diferentes graus e escalas de intensidade), assim como, estruturas tectônicas relacionadas aos eventos deformacionais superimpostos, ocorridos ao longo da evolução tectônica da Bacia Sedimentar do Paraná.

Ressalta-se que no Estado do Paraná, em função da proximidade ao Arco de Ponta Grossa (Ferreira, 1982), a deformação possui maior intensidade, com registros de falhas transtensionais, transpressionais, enxame de diques, o que possibilita, inclusive, o contato lateral entre o SASG e o Sistema Aquífero Guarani (SAG).

A deformação e compartimentação do Aquífero Guarani apresentada por Strugale (2002), evidenciada nas rochas da Fm. Botucatu, demonstra a tectônica e deformação à qual a Fm. Serra Geral / SASG pode ter sido submetida. Tal compartimentação é fundamentada pelo autor em dados de campo que descrevem bandas deformacionais com larguras da ordem de um metro e intrusões de diques de diabásio, representando barreiras à circulação das águas subterrâneas.

No que diz respeito ao quimismo das águas, os trabalhos de Rosa Filho; Salamuni; Bittencourt (1987) iniciaram as pesquisas no Estado do Paraná, caracterizando as águas como bicarbonatadas cálcicas como um dos principais tipos químicos para as águas do SASG.

Uma abordagem regional realizada por Rosa Filho e Hindi (2006) descreve para o SASG, no Estado do Paraná, teores de sólidos totais dissolvidos entre 100 e 150 mgL⁻¹, pH entre 6,6 a 7,2 e dureza em torno de 40 mg⁻¹CaCO₃/L. O teor médio de cálcio é 9 mgL⁻¹. As concentrações de magnésio variam de 3,5 a 6,5 mgL⁻¹, as de sódio, entre 1,2 a 3,7 mgL⁻¹, e as de potássio, entre 1,5 a 3 mgL⁻¹. O teor médio de bicarbonato é 38 mgL⁻¹, o de cloreto, 1,5 mgL⁻¹ e o de sulfato, 2,5 mgL⁻¹.

Bittencourt (1996), Buchmann Filho (2002) e Souza (2004) descrevem a possibilidade de ascensão das águas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) até o SASG, o que em muitos casos restringe a utilização *in natura* para abastecimento.

Athayde *et al.* (2007a) sugerem a conectividade entre os aquíferos SASG e SAG mediante interpretação de dados potenciométricos e amostras físico-químicas coletadas em poços de ambos os aquíferos na região do município de Marechal Cândido Rondon e limítrofes.

A comprovada capacidade de abastecimento do SASG no Estado do Paraná, associada à qualidade química do aquífero demonstram a importância estratégica deste aquífero, uma vez que sobre sua área predominam municípios com taxas positivas de crescimento populacional e aumento expressivo de demanda para consumo.

1.1 Hipóteses

Algumas hipóteses aqui apresentadas intentam contribuir com o conhecimento técnico-científico do SASG:

- As heterogeneidades estruturais da Fm. Serra Geral condicionam áreas com maior potencial exploratório. A partir da caracterização de aspectos estruturais, hidrogeológicos e hidroquímicos seria possível identificar áreas favoráveis à captação de água subterrânea.
- Condicionantes exploratórios como tectônica, arcabouço estrutural, geomorfologia, espessura de solo possibilitariam a caracterização de áreas com maior potencial de produção (poços tubulares com volumes representativos).
- O quimismo do aquífero possibilitaria o consumo *in natura* e utilização da água para irrigação em toda extensão do SASG.

1.2 Justificativas

Dentre os principais aquíferos existentes no Estado do Paraná, o Sistema Aquífero Serra Geral é um dos mais importantes, se não o mais importante do estado. Suas águas propiciam o abastecimento de milhares de habitantes, situados em sua área de ocorrência, em muitos casos como fonte exclusiva de abastecimento.

A Figura 2 apresenta um mapa com os municípios paranaenses e os mananciais utilizados no abastecimento. Destaca-se a importância das águas subterrâneas para o Estado do Paraná.

Contribui para o uso no abastecimento a excelente qualidade hídrica para consumo *in natura*, bem como aptidão das águas para irrigação.

O entendimento de aspectos geológicos, estruturais e hidrogeológicos devem reduzir significativamente o risco exploratório. Cabe ressaltar que são descritos casos em que dois poços tubulares distantes entre si menos de 10 metros apresentam capacidades específicas completamente distintas.

São inúmeros os trabalhos existentes sobre o SASG paranaense, entretanto não há um consenso sobre o modelo exploratório do aquífero. Predominam pesquisas em áreas específicas do SASG, inexistindo uma abordagem regional integrando análise de dados hidrogeológicos e estruturais.

Tais fatos destacam a dimensão da contribuição do tema desta pesquisa para a evolução do conhecimento das águas subterrâneas do SASG, em específico no Estado do Paraná.

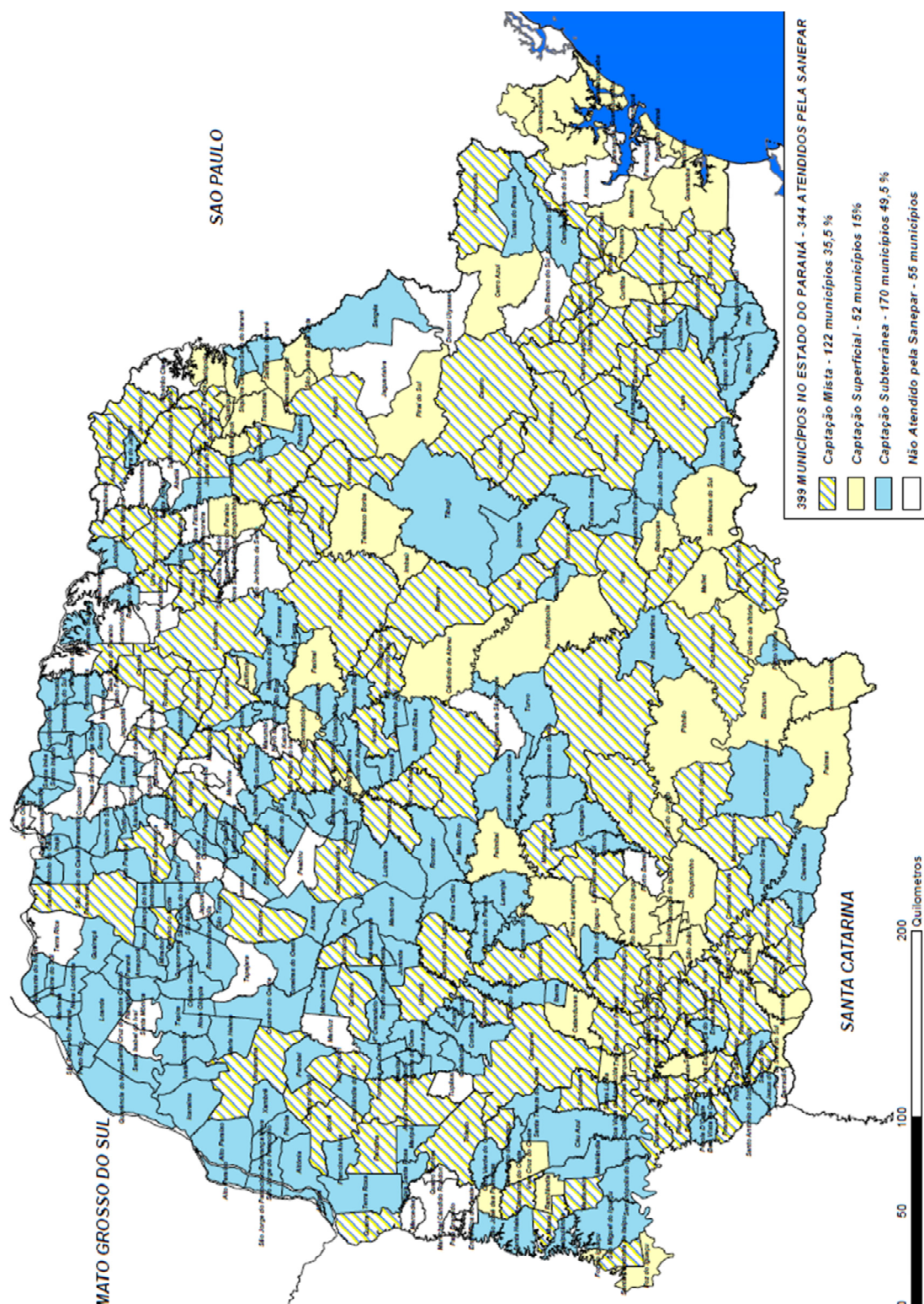


Figura 2: Municípios paranaenses e mananciais utilizados no abastecimento pela SANEPAR.

Fonte: Athayde (2010)

1.3 Objetivos

O objetivo final deste trabalho compreende caracterizar e cartografar o SASG no Estado do Paraná, mediante seus aspectos hidrodinâmicos e hidroquímicos regionais. Esta caracterização subsidiará com informações científicas projetos voltados à utilização dos mananciais subterrâneos, em específico o SASG paranaense.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar o arcabouço estrutural do SASG no Estado do Paraná e seu reflexo na hidrogeologia (vazão e capacidade específica).
- Cartografar áreas com potencialidades hidrogeológicas distintas no SASG paranaense.
- Classificar os principais tipos de água, caracterizar os processos que contribuíram no quimismo das águas, bem como suas aptidões para utilização *in natura* (consumo humano e irrigação).

1.3 Estrutura da Tese

A organização e apresentação das informações estão divididas em sete capítulos, os quais abordam os seguintes assuntos (Figura 3):

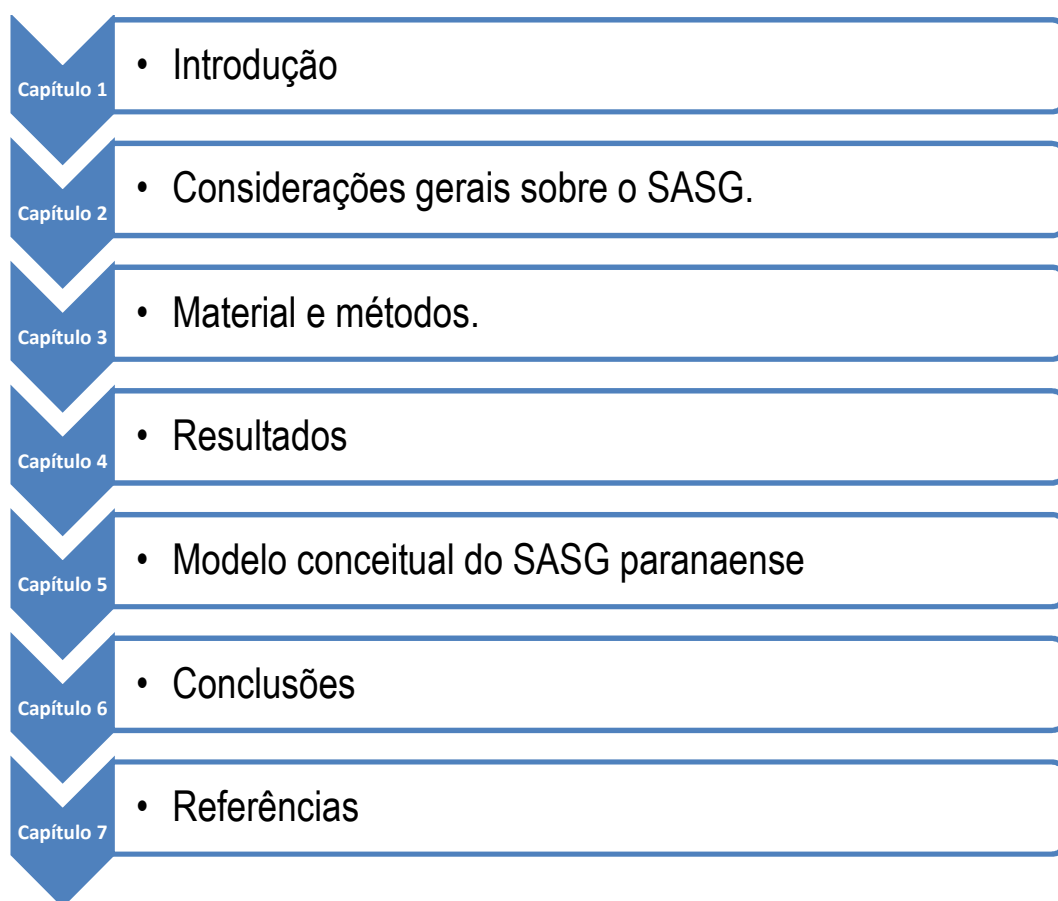


Figura 3: Organização dos capítulos apresentados na tese.

Marques *et al.* (1993), mediante interpretação de dados geofísicos: gravimétricos, magnetométricos e sísmica de reflexão, e de poços profundos, descreve que as primeiras sucessões sedimentares estão acomodadas em um “rifte central”, conforme é possível observar na Figura 5.

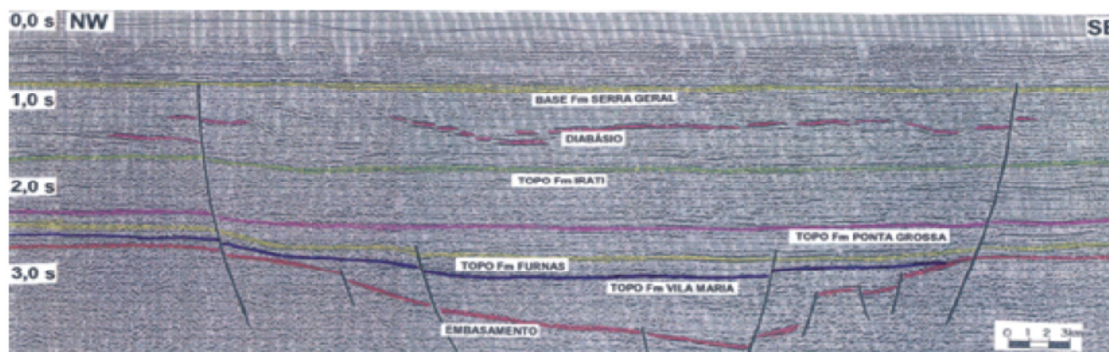


Figura 5: Seção sísmica com o “rifte central” de Marques *et al.* (1993), com a interpretação do autor.

A Figura 6 mostra o contorno estrutural do embasamento cristalino, com destaque para as curvas de espessura da bacia (depocentro), provavelmente reflexo das fases de subsidência, e as supersequências definidas por Milani (1997).

A Figura 7 apresenta o arcabouço tectônico da bacia sedimentar, com destaque para as estruturas de direção NE – SW, definidas por Marques *et al.* (1993); e a Figura 8 apresenta a coluna estratigráfica da referida bacia, proposta por Milani (1997).

A dissipação das tensões via estruturas pré-existentis ocasiona movimentação dos blocos rochosos e tectônica mais acentuada, principalmente pela proximidade ao Arco de Ponta Grossa. No estado do Paraná, Rostirolla *et al.* (2000) caracterizaram o Alto de Quatiguá como uma estrutura dômica, associada à propagação de tensões do embasamento, condicionada por falhas de direção NE, que foram posteriormente seccionadas por falhas e fraturas de direção noroeste. Dois eventos importantes da tectônica deformadora, com reativação da Zona de Falha de Jacutinga foram descritos: um evento transpressivo com cinemática NE anti-horária, interpretado como derivado da propagação intraplaca de tensões compressivas durante a Orogenia *La Ventana*, na passagem Permiano-Triássico, seguido de evento transcorrente distensivo, longo das falhas NE, ocorrido durante e/ou após o magmatismo Serra Geral.

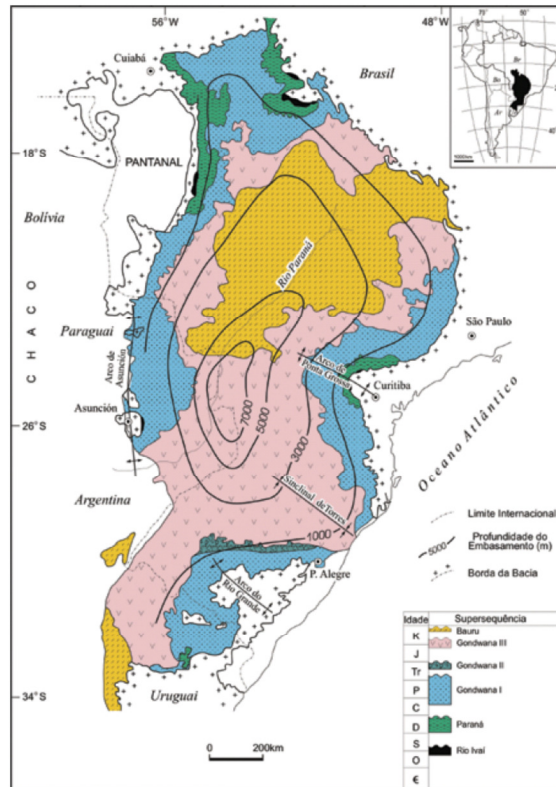


Figura 6: Bacia do Paraná em território brasileiro com as isolinhas de profundidade do embasamento e posição das superseqüências de deposição

Fonte: Milani (1997).

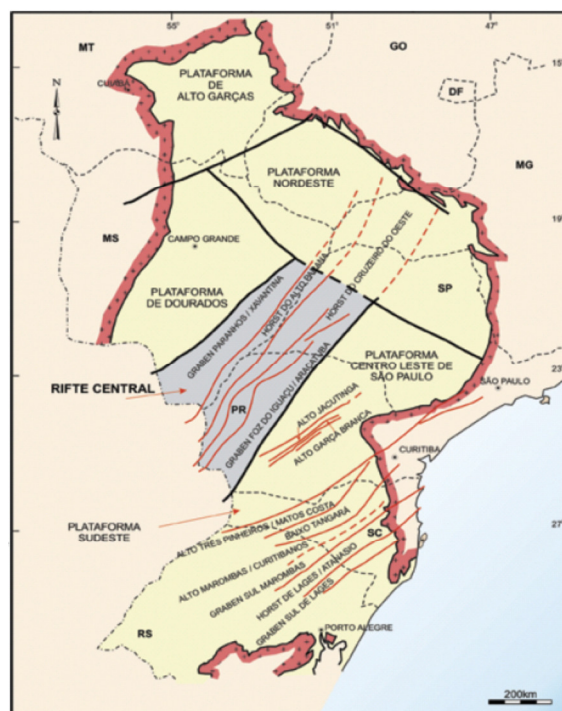


Figura 7: Bacia do Paraná em território brasileiro com as isolinhas de profundidade do embasamento, localizado a posição das superseqüências de deposição.

Fonte: Milani (1997).

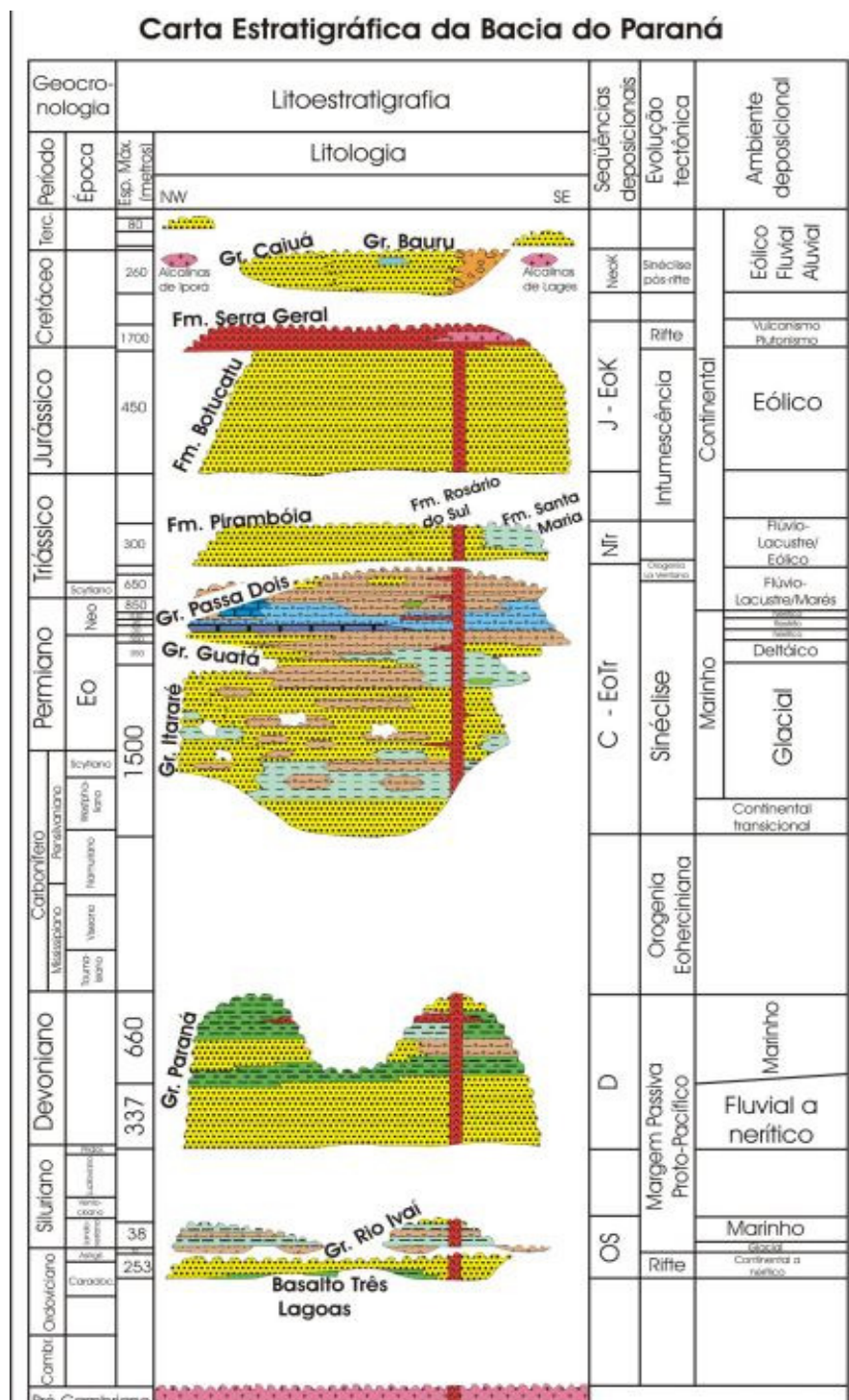


Figura 8: Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná.

Fonte: Milani (1997).

2.2 O Magmatismo Serra Geral

Seis supersequências deposicionais compreendem os estágios evolutivos da Bacia Sedimentar do Paraná (Milani *et al.*, 1998). A Supersequência Gondwana III, denominada de “Sequência Juro-Eocretácica”, compreende o intervalo de registro deposicional dos sedimentos eólicos da Formação Botucatu e os magmatismos da Fm. Serra Geral.

Os basaltos continentais da “Província Magmática do Paraná” definida por Peate *et al.* (1992) representam grandes volumes de magma gerados em períodos relativamente curtos de tempo. Rápidas taxas de geração de magma indicam fusão parcial, em resposta aos esforços distensionais.

Thiede e Vasconcelos (2010) dataram a extrusão das rochas da Formação Serra Geral pelo método do $^{39}\text{Ar} / ^{40}\text{Ar}$, sugerindo idade de 134.7 ± 1 Ma. Estes autores relatam que o vulcanismo deu-se em um intervalo < 1.2 Ma. Corroboram este resultado de “rápida” extrusão, os dados de Renner *et al.* (1996), que identificaram quatro inversões de campo magnético neste período.

As rochas vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná têm sido classificadas de acordo com a composição química, dados mineralógicos e petrográficos. A coexistência de piroxênios ricos e pobres em cálcio, a escassez de olivina magnesiânica e a ocorrência de titano-magnetita e ilmenita nas rochas básicas indicam claramente sua natureza toleítica (Lopes, 2008).

Os derrames possuem textura microcristalina, estrutura maciça e vesicular e/ou amigdaloidal, intenso fraturamento, bem como esfoliações esferoidais. Segundo Melfi *et al.* (1988), as suítes vulcânicas são essencialmente sub-horizontais, com um mergulho médio de 5° em direção ao interior da Bacia do Paraná. Entretanto, os fluxos basais podem apresentar inclinações excepcionalmente altas relacionadas à topografia irregular do embasamento.

Segundo Lopes (2008) na região de Guarapuava – PR existem dois grupos distintos de rochas. As rochas básicas e intermediárias possuem teores de sílica variando de 49 a 57% e são classificadas como basaltos e andesito-basáltico. As rochas ácidas possuem teores de sílica variando de 65 a 69% e são classificadas como dacitos e traquidacitos.

Rüegg (1975) interpretou que as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná apresentam uma diferenciação generalizada, coexistindo distintas séries desde basaltos alcalinos, toleítos, andesitos, latíandesitos até riolitos. Com base na composição química e mineralógica, dividiu as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná em sub-províncias. No território paranaense, encontra-se a “II - Anomalia do centro-oeste paranaense”, constituída por uma elevação dos teores de MgO, CaO, Fe total, Ba, Co, Cu, V, Zn e Zr e por uma depressão nos teores de SiO_2 , K_2O , Na_2O , Cr, Ni, Rb e Sr.

O modelo eruptivo tradicionalmente aceito para a Formação Serra Geral é composto por magmas basálticos e basalto-andesíticos que fluíram por falhas e fraturas NW-SE. Nesse modelo, os condutos seriam extensas zonas de fraqueza geradas por uma grande flexura devida à passagem de uma fonte de calor (pluma mantélica) pelo centro do continente, a qual estaria atualmente

situada no arquipélago de Tristão da Cunha, em pleno Oceano Atlântico. Isso significa que o magma basáltico aproveitando essas zonas de fraqueza teria chegado à superfície na forma de erupções lineares ou de centros eruptivos alinhados segundo NW-SE. A flexura principal estaria hoje representada pelo Arco de Ponta Grossa, com cerca de 200 km de largura, onde se encontram milhares de diques básicos de dimensões extremamente variadas, alcançando até 600 metros de espessura real, situação que se repete em toda a Bacia do Paraná com menor intensidade e densidade, na forma de outros enxames de diques ou como diques isolados, mas sempre orientados segundo NW-SE (Licht, 2012)

Peate (1992) identificou seis magmas-tipo: Urubici, Pitanga, Paranapanema, Gramado, Esmeralda e Ribeira. Essas diferenças podem estar relacionadas a diferentes graus de fusão parcial da mesma fonte mantélica de sul para norte (Peate, 1992) ou a diferentes graus de contaminação crustal que o magma sofreu a partir de diferentes fontes mantélicas até chegar à superfície.

Alguns exemplos das rochas descritas em campo, variando sua composição, ora mais ácida, ora mais básica, podem ser observados nas fotografias da Figura 9.

Durante o mapeamento geológico regional da Formação Serra Geral no Estado do Paraná, a equipe da MINEROPAR identificou um grande número de camadas de brechas constituídas por clastos juvenis de basalto ou basalto-andesítico, vesiculares, angulosos globulares, imersos em uma matriz areno-síltico-argilosa quartzo-feldspática-micácea, e também camadas decimétricas constituídas de material areno-síltico-argiloso quartzo-feldspático-micáceo intercaladas aos derrames de basalto ou basalto-andesítico (Licht, 2012).

Com base neste mapeamento, estes mesmos autores propõem que o hidrovulcanismo na Bacia do Paraná foi originado pela interação explosiva entre os condutos do magma básico e os sistemas aquíferos abrigados na espessa pilha sedimentar, dando origem na área pesquisada a uma espessa sequência de derrames de basalto e basalto-andesítico com intercalações de hidrobrechas, hidrotufo-brechas e hidrotufos. O modelo está sintetizado na Figura 10.

A)



B)



C)



D)



Figura 9: Fotografias dos diferentes litotipos: Brecha vulcanoclástica (A), basaltos vesiculares (B e C) e maciços (D) encontrados na área de estudo. Fotografias do autor na pedreira municipal de Toledo – PR.

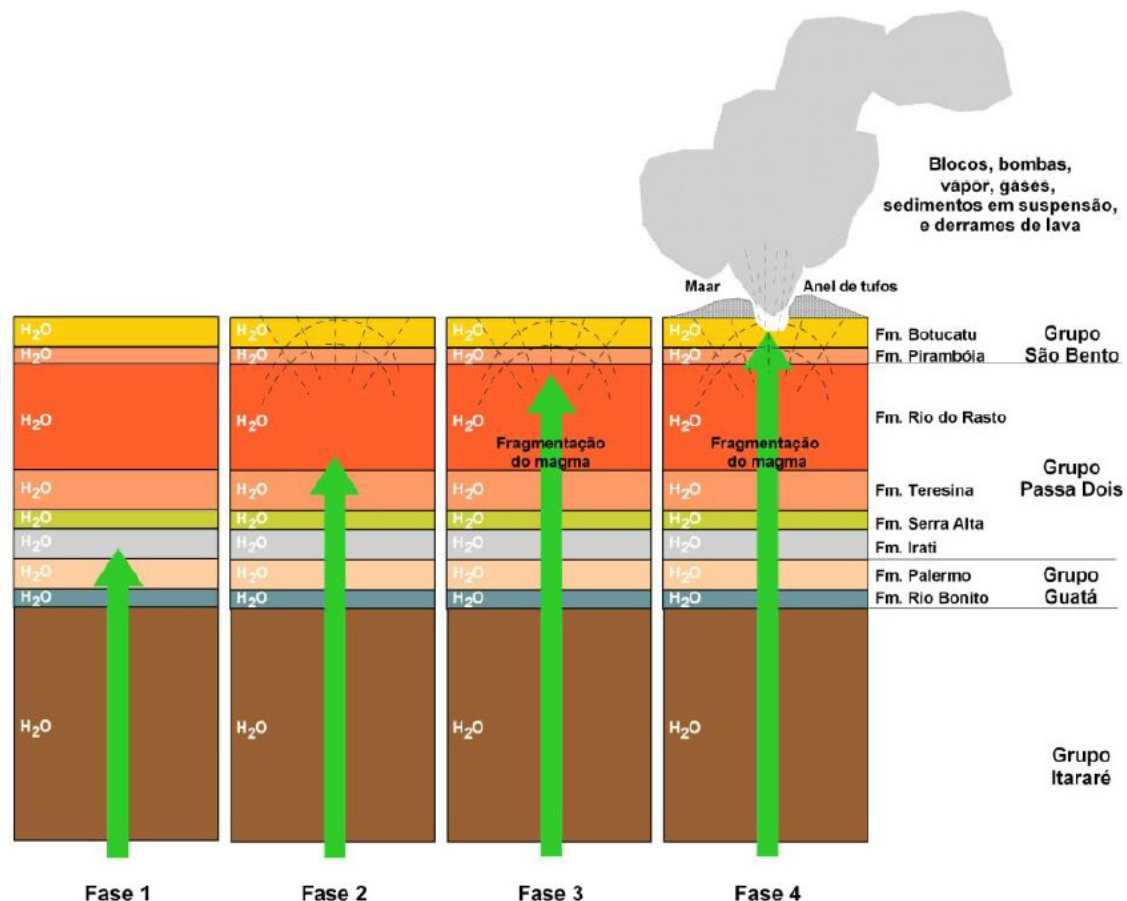


Figura 10: Síntese do modelo dos processos hidrovolcânicos para a Formação Serra Geral na Bacia do Paraná.

Fonte: Licht (2012).

2.3 Características gerais de aquíferos vulcânicos

Em rochas vulcânicas podem ser encontrados aquíferos livres e confinados. O confinamento pode ser um *intertrapp* de arenitos em basaltos ou, por exemplo, brechas vulcânicas confinadas por derrames maciços em profundidade.

Espaços vazios na rocha reservatório estão comumente associados a basaltos brechados, cavidades entre derrames em corda, fraturas paralelas ao sentido defluxo do derrame ou as disjunções colunares, presença de vesículas, tubos de lavas, fraturas e falhas.

O principal fluxo subterrâneo em aquíferos vulcânicos ocorre na horizontal, e secundariamente por estruturas verticais. As estruturas verticais possibilitam a recarga e mistura de águas entre diferentes derrames, bem como intercomunicam diferentes aquíferos dependendo das relações potenciométricas existentes.

Existe, de maneira geral, um decréscimo da porosidade e condutividade hidráulica com o aumento da idade das rochas. Isso ocorre devido ao

intemperismo dos minerais existentes nas vesículas e fraturas como zeólita, calcita e sílica. Este processo pode ser observado em escala mundial, comparando aquíferos vulcânicos pré-Terciários como o SASG (Brasil), *Deccan Traps* (Índia), e basaltos do leste americano; com aquíferos terciários americanos (Havaí e *Columbia River*) e Ilhas Canárias (Espanha). Ressalta-se, por outro lado, que rochas mais antigas podem apresentar um histórico tectônico mais expressivo e desta forma conter um maior número de estruturas distensionais.

No *Deccan Traps*, baseado em técnicas como balanço hídrico e variação da profundidade do aquífero, foi estimada uma recarga entre 10% e 20% da precipitação. Nas ilhas havaianas, onde o acumulado anual precipitado pode chegar a 6300 mm, a recarga é mais expressiva (30% a 36% da precipitação) nos basaltos mais jovens, ao comparar com os índices nas rochas mais antigas (entre 6% e 10%). Aproximadamente 24% do volume anual precipitado (1200 mm/ano) recarrega o aquífero vulcânico nas Ilhas Maurício (Sterns, 1942).

Quanto ao quimismo, predominam águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas nos diferentes aquíferos vulcânicos mundiais. Derrames ácidos podem apresentar maiores concentrações de sílica e sódio, apresentando águas tipo bicarbonatadas sódicas (Singhal e Gupta, 1999).

2.4 Aspectos hidrogeológicos regionais do Sistema Aquífero Serra Geral

O SASG está inserido na Província Hidrogeológica Bacia Sedimentar do Paraná. Essa província tem uma extensão de 1,6 milhão km², destes, cerca de um milhão de quilômetros quadrados nas regiões sul e sudeste do Brasil.

O volume estimado estocado nos aquíferos da Província Hidrogeológica Bacia Sedimentar do Paraná é de 50.000 km³, com taxa de recarga da ordem de 250 km³/ano; destes 100 km³ explotáveis (Rebouças, 2006).

A área de afloramento do SASG no Brasil possui extensão de 800.000 km² e espessuras de pouco mais de 1570 metros (Presidente Epitácio – SP), confinando o Sistema Aquífero Guarani (SAG), dentre outros.

Este pacote de rochas vulcânicas apresenta falhas, fraturas e outras descontinuidades interderrames (não tectônicas), as quais se caracterizam como estruturas favoráveis a acumulação e fluxo de água subterrânea.

Em notável trabalho, Bertolo *et al* (2007) descrevem a hidrogeoquímica das águas minerais envasadas no Brasil. As águas minerais envasadas do SASG são predominantemente bicarbonatadas-cálcicas, ligeiramente sódica e magnesianas, pH≈7,0 e com variação significativa de resíduo seco (RS) e cálcio, representativas, portanto, mistura de fluxos rasos e profundos (< 150m). As relações iônicas confirmam existir o predomínio da geoquímica de alteração intempérica de silicatos, sendo que a relação Na/Ca sinaliza para a existência de intemperismo de plagioclásio cálcico, concordante com a mineralogia essencial dos basaltos (plagioclásio cálcico e piroxênio do tipo augita).

Fontes de cálcio e sódio podem também estar associadas a dissolução dos minerais como calcitas e zeólitas, respectivamente, os quais são comumente encontrados preenchendo as fraturas e vesículas.

Bertolo *et al* (2007) destacam que poços locados no SASG que representam águas de circulação ainda mais profundas caracterizam-se por ser bicarbonatadas sódicas, com cálcio e magnésio praticamente ausentes, com pH>9,0 e RS≈250 mgL⁻¹. Nestas condições, a calcita encontrasse supersaturada e as relações [Na/Cl] e [Si/Na] indicam haver outra fonte de sódio além daquelas provenientes de contribuição marinha ou de intemperismo de albita. O autor descreve que as características destas águas são semelhantes às características das águas do Sistema Aquífero Guarani confinado, o que sinaliza para a possibilidade de contribuição de águas ascendentes deste aquífero ao SASG.

Por se tratar de um aquífero que ocorre em mais de um estado da federação, serão aqui apresentados aspectos regionais por estado, em função principalmente da abrangência dos trabalhos nos grupos de pesquisa.

2.4.1 O SASG no Estado de Mato Grosso do Sul

No estado do mato Grosso do Sul, a Fm. Serra Geral ocupa uma área aproximada de 178.000 km², sendo 40.000 km² aflorantes e o restante subjacente aos sedimentos do Grupo Bauru.

Segundo Lastória (2002) a espessura dos basaltos varia entre 50 e 500 metros. As profundidades perfuradas mostram valores entre 30 e 300 metros. As temperaturas das águas variam entre 24°C e 28°C e o pH entre 5,5 e 7,8, com tipo químico predominante bicarbonatada cálcica.

Lastória (2002) identificou interações entre o SASG e o SAG a partir das relações entre Cl/HCO₃ e Na/Ca + Mg, assim como pela possibilidade de ascensão das águas do SAG em decorrência da potenciometria favorável, principalmente na porção central do estado.

2.4.2 O SASG no Estado de São Paulo

Fernandes *et al.* (2006) propõem, em estudo notável do SASG no estado de São Paulo, um modelo conceitual de circulação das águas deste aquífero (Figura 11). Neste modelo, além das fraturas tectônicas, outros tipos de descontinuidades, importantes para a circulação e armazenamento de água, são representados por fraturas de resfriamento que podem ser verticais (disjunções colunares) ou sub-horizontais.

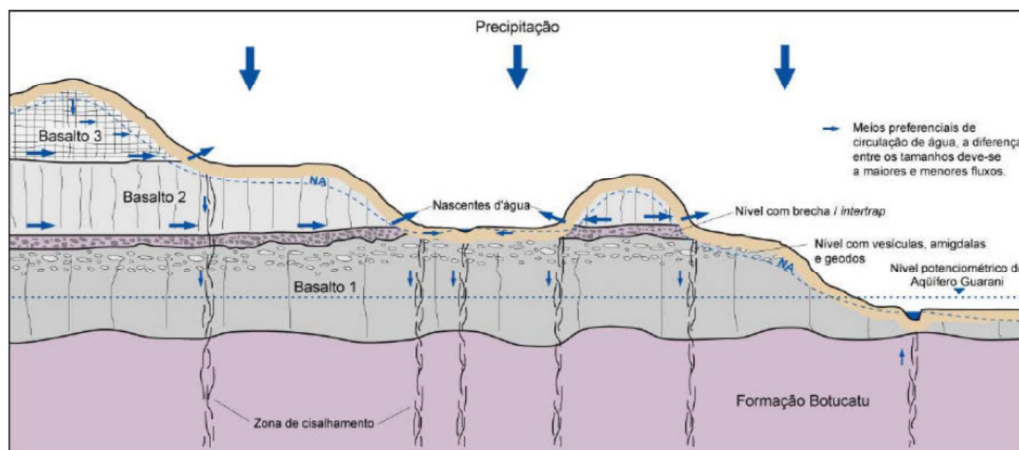


Figura 11: Modelo de circulação no aquífero Serra Geral.

Fonte: Fernandes *et al.* (2006).

Wahnfried (2010) testa a existência de drenança através do SASG para o SAG, na região de Ribeirão Preto – SP, utilizando métodos geofísicos (SEV e caminhamento), construção de piezômetros, construção de obturadores para amostragens discretas, análises químicas e isotópicas da água, assim como

testes de bombeamento. Seus resultados mostram pouca ou nenhuma conectividade entre os aquíferos. Porém é recomendado destacar que a espessura da Formação Serra Geral na região da pesquisa é de apenas 100 metros.

2.4.3 O SASG no Estado de Santa Catarina

Em uma abordagem regional Scheibe e Hirata (2008) descrevem os aspectos estruturais do SASG como importantes para conectividade com o SAG. Abordam também a importância do SASG no abastecimento público e a qualidade das águas *in natura*.

Dados hidrogeológicos do projeto PROESC (2002) caracterizam o SASG no oeste catarinense. As profundidades mais comuns das entradas de água (72%) estão entre 20 e 100 metros; vazões acima de $20\text{m}^3\text{ h}^{-1}$ ocorrem em apenas 10% dos poços. A produção do SASG em Santa Catarina é de 500 L s^{-1} , o que representa $42.000\text{ m}^3\text{ dia}^{-1}$.

Segundo PROESC (2002) foram classificadas três tipos principais de água: bicarbonatadas; cloretadas; e sulfatadas. A classificação pelos íons predominantes destacou a ocorrência das águas bicarbonatadas sódicas (27%), seguidas por bicarbonatadas cálcicas (19,6%). Dentre os 131 poços analisados, 56 indicaram presença de coliformes fecais. Seis poços com sulfato, nove com fluoreto, 14 poços com ocorrência de ferro, sete poços com manganês e seis ocorrências de STD, apresentaram teores acima dos valores máximos permitidos, estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 do Ministério da Saúde.

2.4.4 O SASG no Estado de Rio Grande do Sul

Segundo Betiolo (2006) são classificados três tipos principais de água no SASG: bicarbonatadas, cloretadas e sulfatadas. No mesmo trabalho, o autor descreve a importância das estruturas tectônicas regionais no fluxo do aquífero, bem como a inexistência de correlação entre densidade de lineamentos e capacidade específica dos poços.

Interações entre os SASG e SAG são descritas por Betiolo (2006) e Nanni (2008). Este último autor descreve também a ocorrência de flúor no Aquífero Serra Geral, associado à estruturação geológica regional do território (grandes lineamentos).

2.4.5 O SASG no Estado do Paraná

A SANEPAR abasteceu em 2009 cerca de 1,1 milhão de habitantes com águas do SASG no Estado do Paraná, através da operação de 493 poços tubulares. Isso representa 61% do volume de água subterrânea produzida pela companhia. O regime de bombeamento dos poços é, em média, de 16 horas/dia, e vazão explorada foi de 75.096.607 m³/ano (Athayde, 2010).

Dentre as unidades aquíferas existentes no Estado do Paraná (Figura 12), a Unidade Aquífera Serra Geral caracteriza-se como a unidade com maior número de poços outorgados pela SUDERHSA (Figura 13).

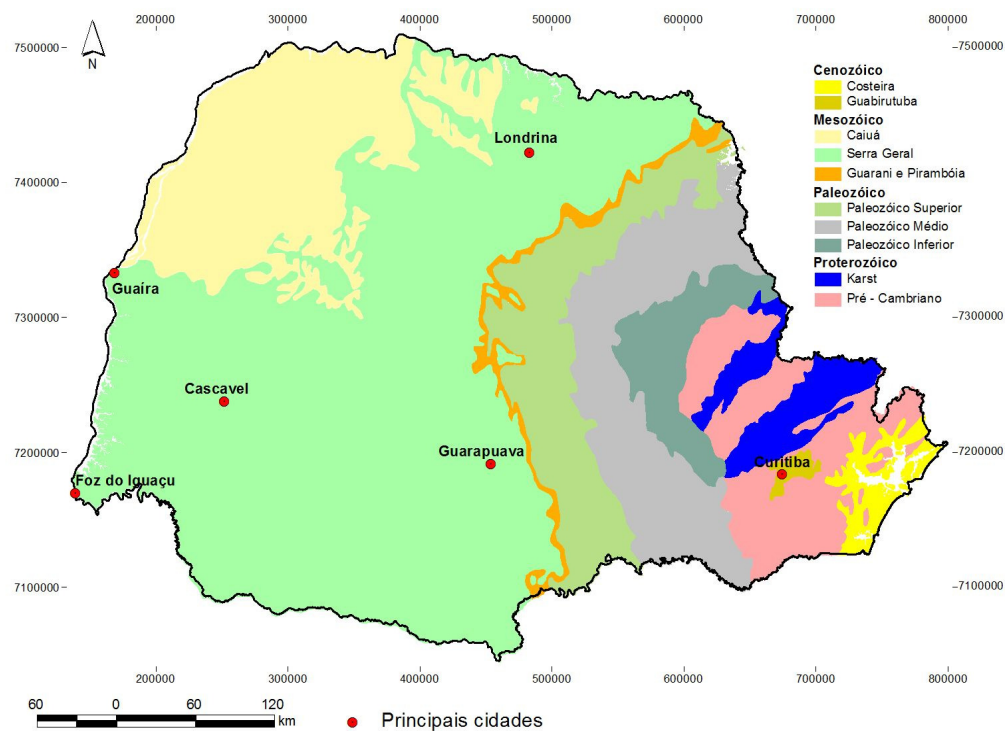


Figura 12: Unidades aquíferas do Estado do Paraná.

Fonte: Modificado de MINEROPAR (2006).

Ao comparar os dados de vazão dos poços outorgados pela SUDERHSA que captam o SASG, separando-os por bacias hidrográficas (Tabela 1), observa-se que a Bacia do Rio Iguaçu possui a maior vazão outorgada. Entretanto a Bacia do Paraná I registra a maior média de vazão dos poços, com 33 m³h⁻¹.

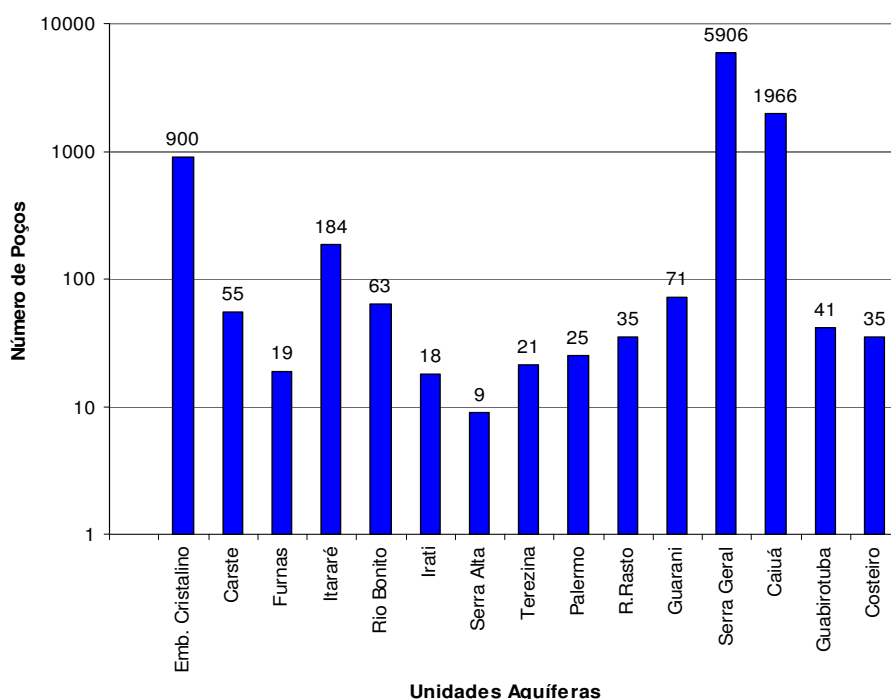


Figura 13: Número de outorgas concedidas pela SUDERHSA por unidade aquífera até o ano de 2005.

Fonte: Athayde (2008).

Tabela 1: Vazão dos poços tubulares profundos localizados na Fm. Serra Geral, separados por bacias hidrográficas.

Bacias Hidrográficas	Vaz. Out. Máx.	Vaz. Out Méd.	Vaz. Out. Min.	Número de poços
Cinzas	200	17	1	76
Ivaí	185	9	1	1288
Iguaçu	250	7	1	1144
Tibagi	172	13	1	516
Bacia do Paraná I	61	33	6	3
Bacia do Paraná II	27	16	5	2
Bacia do Paraná III	190	11	1	1167
Piquiri	130	10	1	931
Paranapanema 1	150	16	1	29
Paranapanema 2	50	14	1	12
Paranapanema 3	132	18	1	98
Paranapanema 4	80	19	1	20
Pirapó	100	8	1	620
Média Total $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	250	10	1,7	-

Fonte: Rosa Filho e Hindi (2006). Vaz. Out. = vazão outorgada.

Coincidentemente, as maiores vazões correspondem às bacias com maior número de poços perfurados, o que pode indicar que estes resultados ocorrem em função de um número maior de amostras.

2.4.5.1 Relações de contato do SASG no Estado do Paraná

No Estado do Paraná, o SASG está em contato com duas unidades aquíferas: Aquífero Guarani e Aquífero Caiuá (Figura 14).

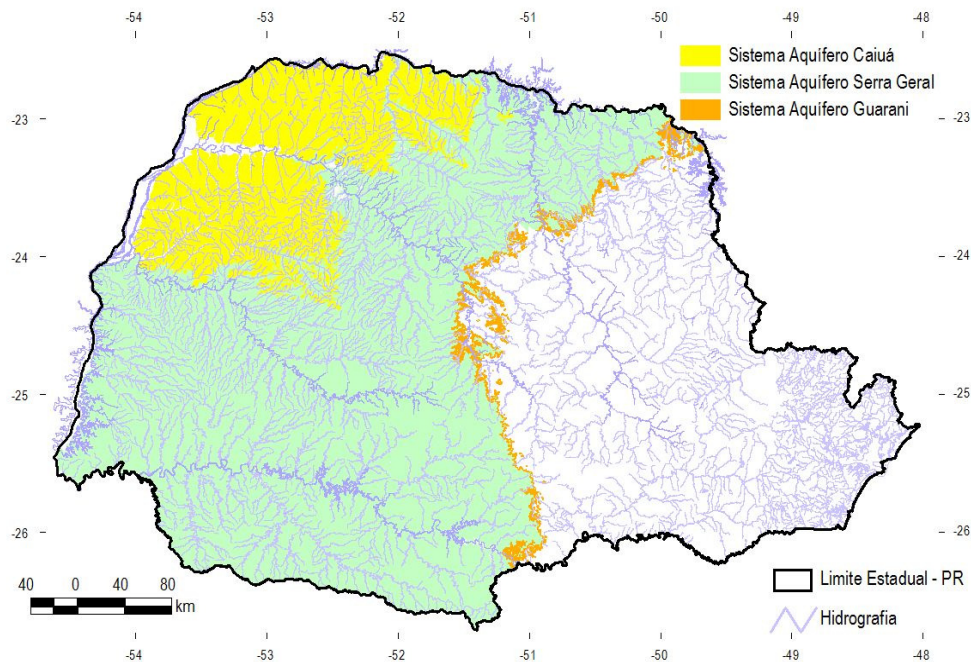


Figura 14: Unidades Aquíferas em contato com o SASG no Estado do Paraná.

Celigo (2004) descreve a relação de contato entre os dois sistemas aquíferos por meio de um perfil esquemático E-W, da borda de ocorrência dos arenitos até o vale do rio Paraná (Figura 15).

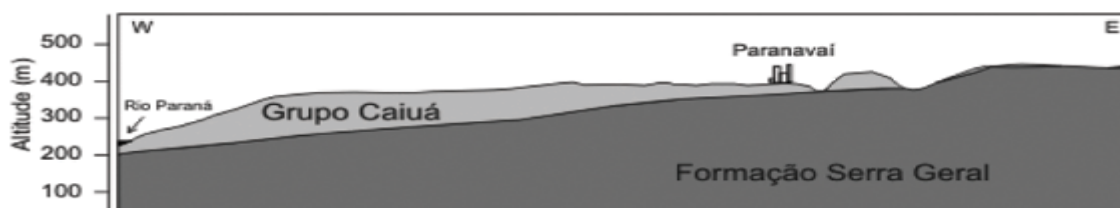


Figura 15: Relações de contato entre o Aquífero Caiuá e o SASG no Estado do Paraná.

Fonte: Celigo (2004).

No que diz respeito ao contato com o SAG, autores como Strugale (2002) e Hindi (2007) demonstram que a compartimentação do SAG por falhas e diques, coloca em contato lateral o SASG com o SAG no território paranaense.

A Figura 16 apresenta perfis hidrogeológicos propostos por Hindi (2007) para o SAG no Estado do Paraná. É importante notar que em muitos casos o SAG e o SASG estão em contato lateral.

No perfil superior da Figura 16 observa-se o grande rejeito existente entre o poço Termas de Jurema e Jardim Alegre. A projeção desta falha em superfície caracteriza o Lineamento Jacutinga. O escalonamento dos blocos sugere falhamento normal, em ambiente distensivo, associado à evolução tectônica da Bacia Sedimentar do Paraná.

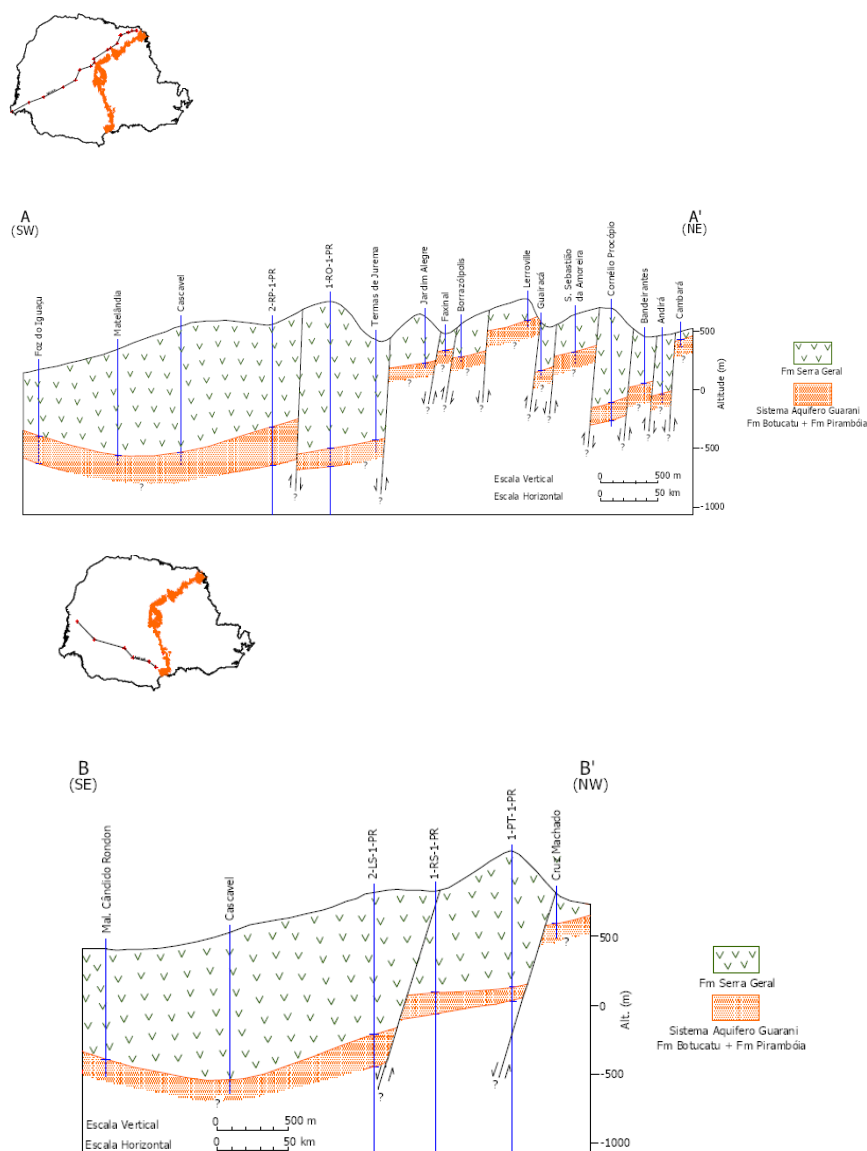


Figura 16: Perfis hidrogeológicos propostos por Hindi (2007) onde se ilustra o contato lateral entre os SASG e SAG no Estado do Paraná.

2.4.5.3 Rede de drenagem e bacias hidrográficas do estado do Paraná

A rede de drenagem do território paranaense foi subdividida em 16 bacias hidrográficas (Figura 17). Dentre estas, drenam o SASG as bacias dos rios: Cinzas, Tibagi, Pirapó, Paranapanema 1,2 e 3, Ivaí, Piquiri, Paranapanema, Paraná 3 (BP3) e Iguaçu (SUDERHSA, 1998).

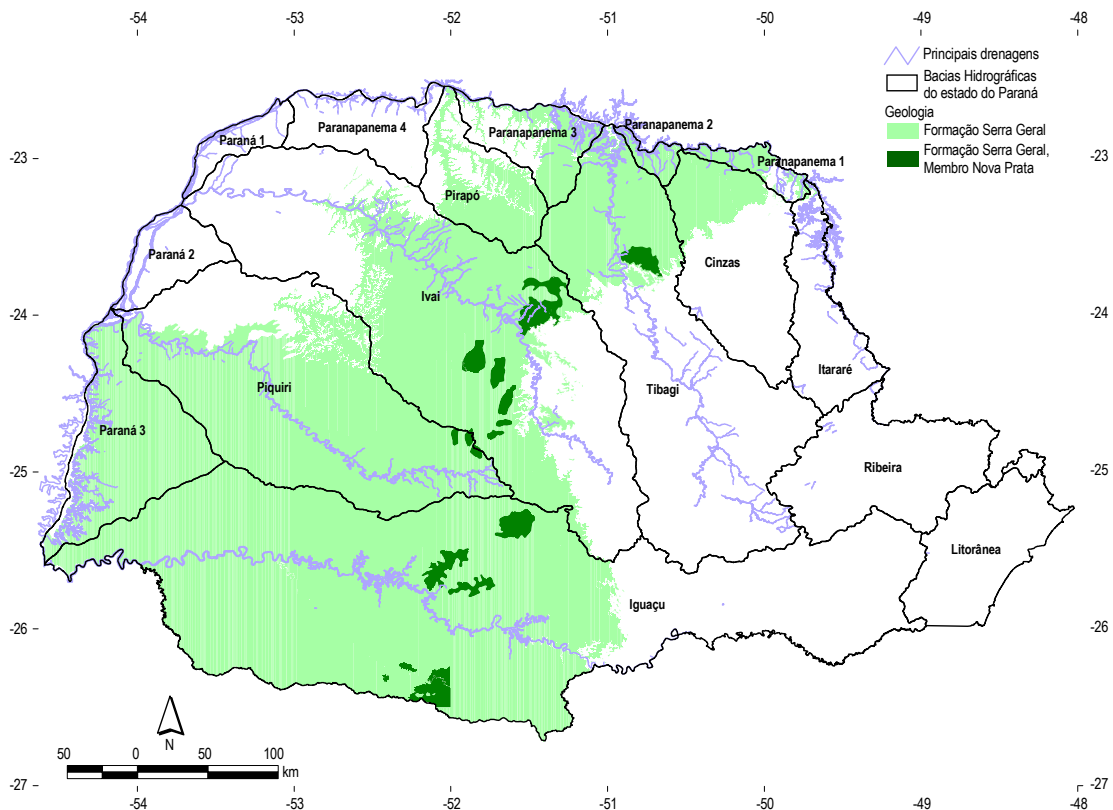


Figura 17: Bacias hidrográficas do estado do Paraná, modificado de SUDERHSA (1998).

A análise dos resultados apresentados no mapa de vazões médias em pequenas bacias (Figura 18) de SUDERHSA (1998), caracteriza a região noroeste do aquífero como local dos menores volumes de escoamento superficial. Por outro lado, os maiores valores ocorrem na bacia do rio Iguaçu e próximo ao divisor das bacias BP3 e Iguaçu.

Os maiores volumes precipitados (Figura 18) ocorrem no sudoeste do estado (bacia hidrográfica do rio Iguaçu), nesta mesma área ocorrem os maiores valores de escoamento superficial. Estes fatos sugerem baixas taxas de infiltração e consequente de recarga do aquífero.

A região noroeste do estado apresenta baixos valores de escoamento superficial (tons amarelos na Figura 20) e também valores mais reduzidos de precipitação dentre as médias das estações situadas sobre o SASG. Estes fatos sugerem uma melhor permeabilidade e desta forma, maior potencial de infiltração do volume precipitado, uma vez que predomina o excedente hídrico no SASG.

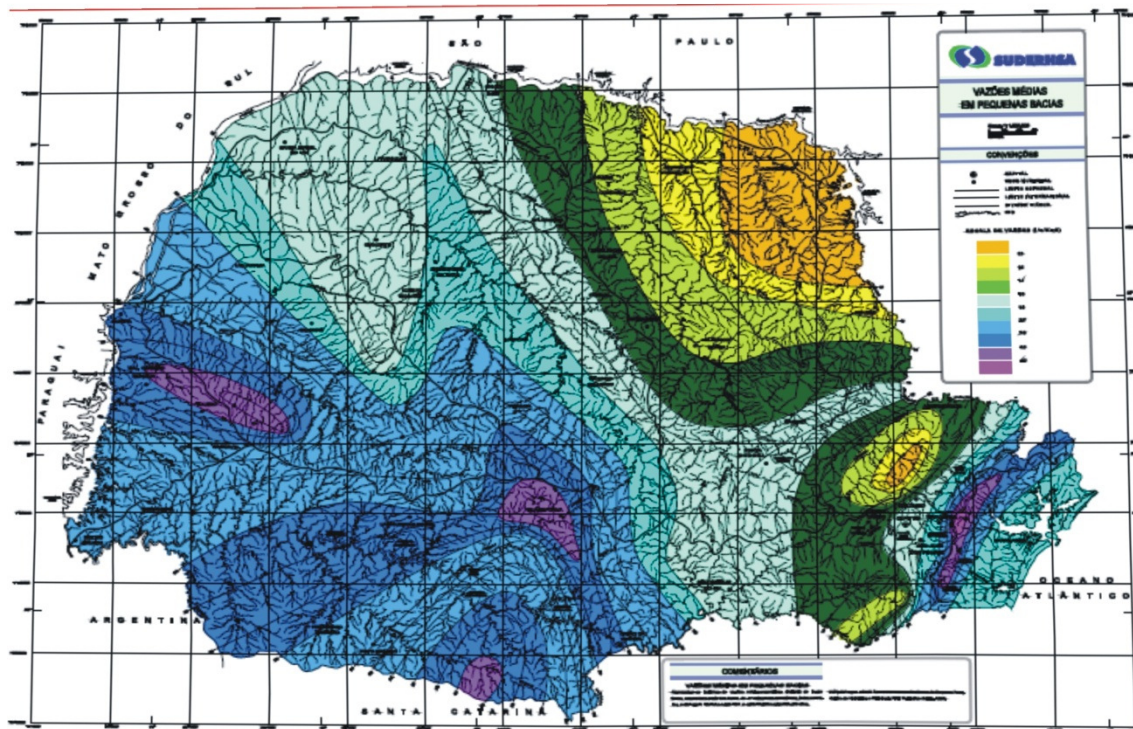


Figura 18: Vazões médias em pequenas bacias do estado do Paraná, SUDERHSA (1998).

2.4.5.4 Pluviosidades regionais sobre o SASG no Estado do Paraná

A Figura 19 apresenta as estações pluviométricas do Estado do Paraná, onde estão destacadas em tons de vermelho as estações onde ocorrem valores acima da mediana de precipitação anual.

Sobre o SASG estão localizadas inúmeras estações onde foram registrados valores anômalos de precipitação, em específico, na região da Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu (sudoeste do estado), na Bacia do Paraná 3, e em porções das bacias dos rios Piquiri e Ivaí.

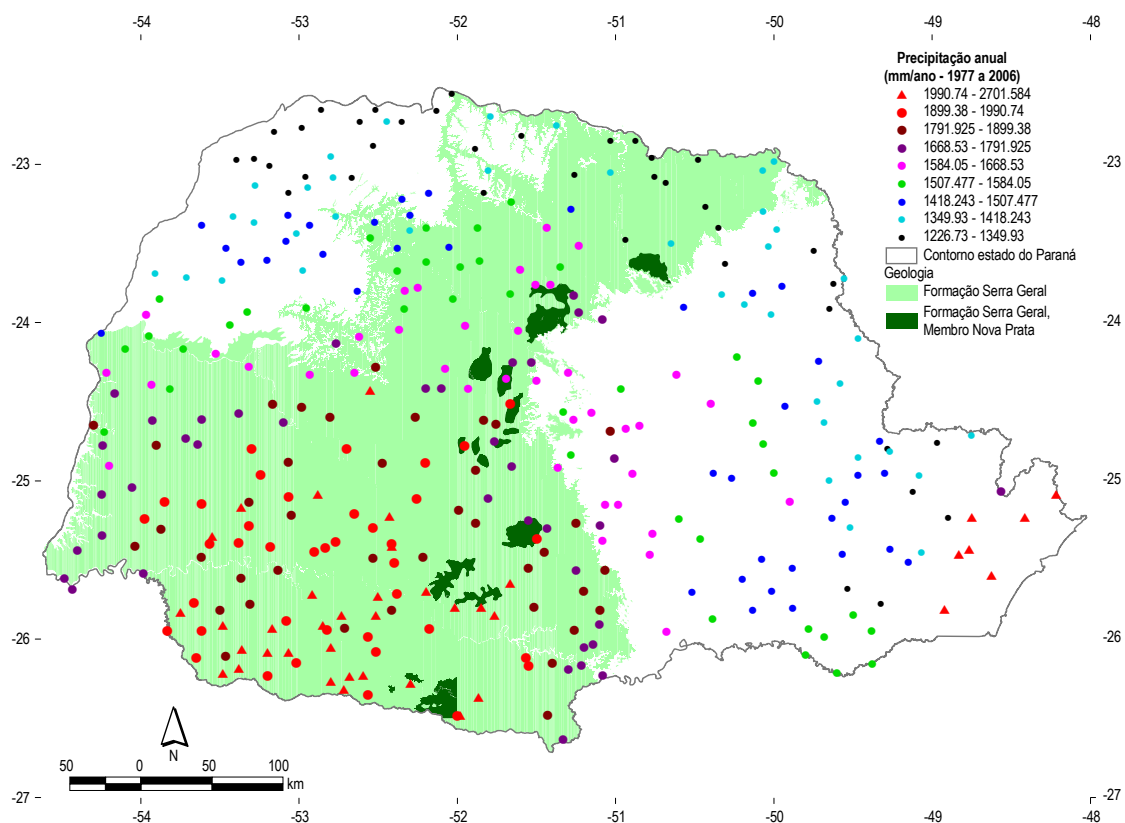


Figura 19: Mapa com a distribuição das estações meteorológicas do Paraná, indicando o volume anual precipitado. (serie histórica entre 1977 e 2006).

Fonte: modificado de CPRM (2010).

2.4.5.2 Aspectos geomorfológicos regionais do SASG no Estado do Paraná

Segundo o Atlas Geomorfológico do Paraná (Mineropar, 2006a), a Fm. Serra Geral pertence à Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, na Unidade Morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense, que se subdivide em 18 subunidades morfoesculturais (Figura 20). A Tabela 2 apresenta a descrição de cada subunidade.

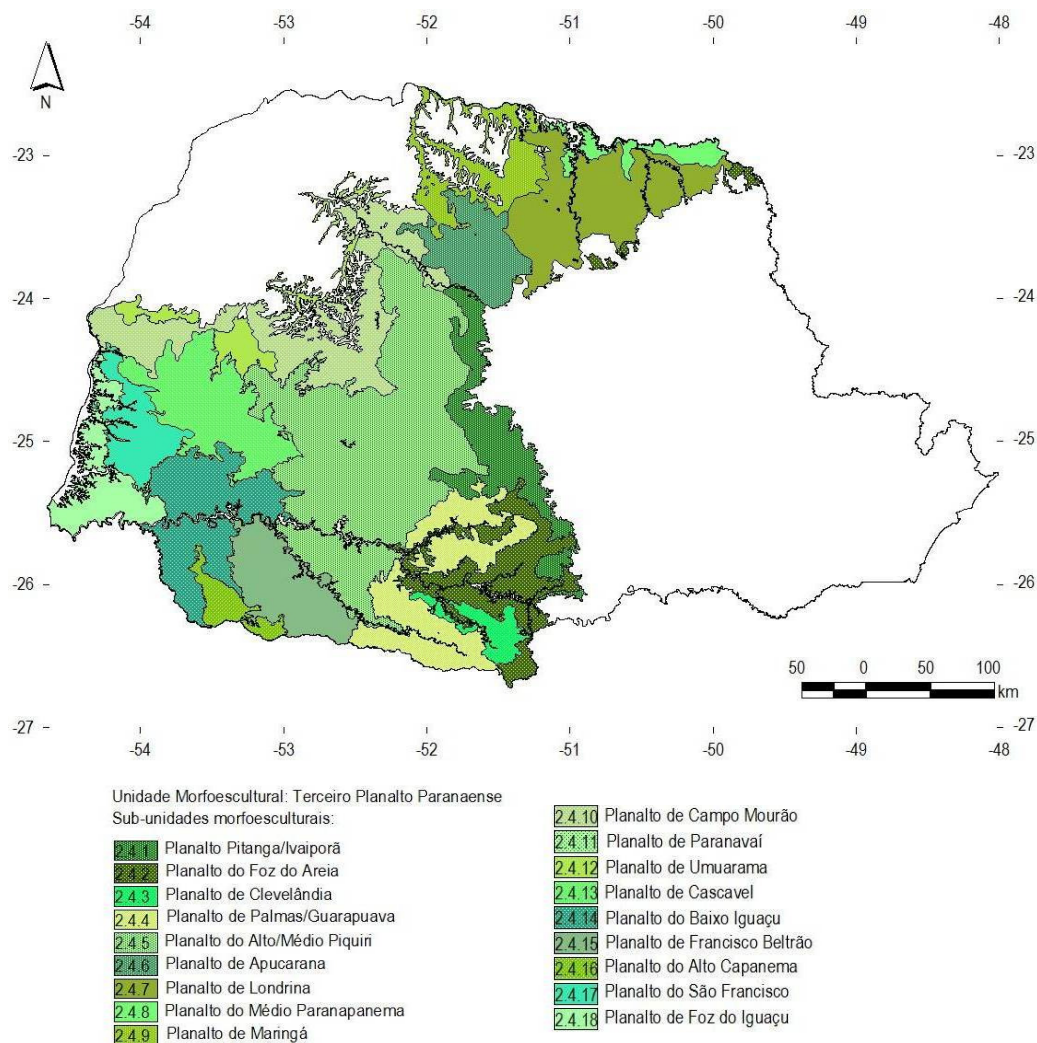


Figura 20: Mapa geomorfológico do SASG no Estado do Paraná.

Fonte: Modificado de Mineropar (2006a).

Tabela 2: Descrição das principais unidades Geomorfológicas do SASG no Paraná (modificado de Mineropar, 2006a).

SUB-UNIDADE MORFOESCULTURAL	FORMAS DE RELEVO Morfologia dominante				ALTITUDE (m.s.n.m.)			CLASSES DE DECLIVIDADE (área em km²)					AREA TOTAL (km²)
	DISSECAÇÃO	TOPOS	VERTENTES	VALES	MIN.	MAX.	GRADIENTE	<6	6-12%	12-30%	30-47%	>47%	
Planalto Pitanga/Ivaiporã	média	alongados	convexas	V	320	1.300	980	2.512,32	1.736,29	1.262,87	99,77	29,26	5.640
Planalto do Foz do Areia	alta	alongados	retilíneas e côncavas	Em degraus	400	1.340	940	2.079,61	1.079,05	2.822,00	882,21	170,21	7.037
Planalto de Clevelândia	média	aplainados com residuais de aplinação	convexas e convexo-côncavas	V	720	1.320	600	604,76	290,97	450,87	105,75	13,28	1.465
Planalto de Palmas/Guarapuava	baixa	aplainados	retilíneas e convexas	U	520	1.360	840	4.256,25	1.770,41	590,17	37,38	2,69	6.659
Planalto do Alto/Médio Piquiri	média	alongados e isolados	convexas e convexo-côncavas	U aberto	280	1.220	940	7.735,93	4.301,97	8.278,11	1.470,81	68,05	21.854
Planalto de Apucarana	alta	alongados	convexas	V	300	920	620	1.373,59	1.412,56	1.109,62	95,56	2,32	3.994
Planalto de Londrina	média	alongados	convexas	V	340	1.180	840	3.979,24	3.399,21	1.932,87	92,99	5,95	9.410
Planalto do Médio Parapanema	baixa	aplainados	convexas	V	340	600	260	1.328,54	444,59	36,34	0,55	0,03	1.812
Planalto de Maringá	baixa	alongados e applainados	convexas	V	260	800	540	4.620,89	3.225,84	173,67	0,36	0,00	8.032
Planalto de Campo Mourão	baixa	aplainados	retilíneas e côncavas na base	Em calha	220	840	620	6.765,23	4.193,98	364,51	8,21	0,12	11.332
Planalto de Paranaíba	baixa	aplainados	convexas	V aberto	240	580	340	5.565,03	1.911,01	31,72	0,97	0,29	7.513
Planalto de Umuarama	média	alongados e applainados	convexas	V	240	660	420	7.617,44	7.394,43	349,50	1,02		15.362
Planalto de Cascavel	média	alongados e applainados	convexas	V	240	920	680	2.948,27	2.862,49	525,23	18,90	0,75	6.355
Planalto do Baixo Iguaçu	alta	alongados e em cristas	retilíneas	V encaixado	220	880	660	2.459,34	1.807,66	2.290,64	277,47	7,83	6.843
Planalto de Francisco Beltrão	média	alongados	convexas	V aberto	340	1.020	680	1.984,00	1.199,34	1.388,37	113,38	2,21	4.688
Planalto do Alto Capanema	alta	alongados e em cristas	retilíneas	V	280	960	680	408,01	158,41	640,62	189,82	9,47	1.408
Planalto do São Francisco	média	alongados	convexas	V	220	700	480	1.001,66	1.076,72	910,63	77,01	1,11	3.067
Planalto de Foz do Iguaçu	baixa	aplainados	convexas	V aberto	120	540	420	2.795,82	956,32	102,49	4,00	0,13	3.859

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os dados adquiridos e gerados durante o desenvolvimento desta pesquisa foram armazenados em um banco de dados, permitindo a organização, compilação e integração das informações em diferentes escalas e áreas temáticas.

A investigação é baseada na superposição de mapas transparentes (*overlays*) e na análise estatística dos dados (Mellanger *et al.* 1984).

Este método de trabalho está diretamente relacionado com o limite da capacidade humana em combinar os dados necessários para a construção de modelos interpretativos complexos. O tratamento da informação na forma analógica é assim limitado por condicionantes simplórios, tal como a transparência de um conjunto de mapas desenhados em papel vegetal. Além disso, para que a interpretação multivariada de um certo espaço geográfico seja efetiva, é necessário que os dados tabulares sejam espacializados, de modo que se torne clara a regionalização das variáveis relacionadas aos processos investigados (Licht, 2001).

Todos os dados georreferenciados, base do sistema de informações deste estudo, estão projetados em coordenadas geográficas, datum SAD 1969.

3.1 Base de Dados

3.1.1 Limite do SASG no Estado do Paraná

Os limites do SASG foram extraídos do Mapa Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2006b). Atualmente a MINEROPAR trabalha no mapeamento da Formação Serra Geral, subdividindo toda sequência vulcânica aflorante no Estado do Paraná. Já existem artigos no prelo que caracterizam estas sequências como Grupo Serra Geral, nomenclatura ainda não adotada nesta pesquisa.

Nesta pesquisa a cor correspondente à área de afloramento da Fm. Serra Geral foi modificada de verde para tons de cinza em função de melhor contraste entre as cores utilizadas. Em cinza escuro são apresentadas as rochas ácidas apresentadas em MINEROPAR (2006b).

3.1.2 Base Altimétrica

A altimetria do projeto foi obtida a partir dos dados SRTM-90. O Projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) consiste em parceria entre a NASA e a NGA (*National Geospatial – Intelligence Agency*), com objetivo de gerar um mapa topográfico digital da superfície da Terra em três dimensões. O

modelo SRTM 90 é considerado, entre os outros modelos igualmente de acesso público, aquele que oferece a mais alta resolução, ou seja, 90 metros.

Essas imagens foram adquiridas no sítio eletrônico da USGS e tratadas com o auxílio do programa *ArcView 3.2* e *Global Mapper 11*. Posteriormente foram inseridas no banco de dados da presente tese. As especificações técnicas originais destes modelos para download são: datum horizontal - WGS 84; datum vertical - WGS84/EGM96 geóide; projeção geográfica e a unidade vertical em metros.

A altimetria dos poços tubulares foi obtida após plotagem destes sobre *grid* do projeto SRTM 90. Em campo, com o uso de GPS, foi obtida a altitude do terreno, entretanto optou-se pelo uso dos dados SRTM como padronização, uma vez que o erro do GPS variava conforme a precisão de localização.

A Figura 21 apresenta a imagem *.bil* obtida no endereço eletrônico do projeto SRTM.

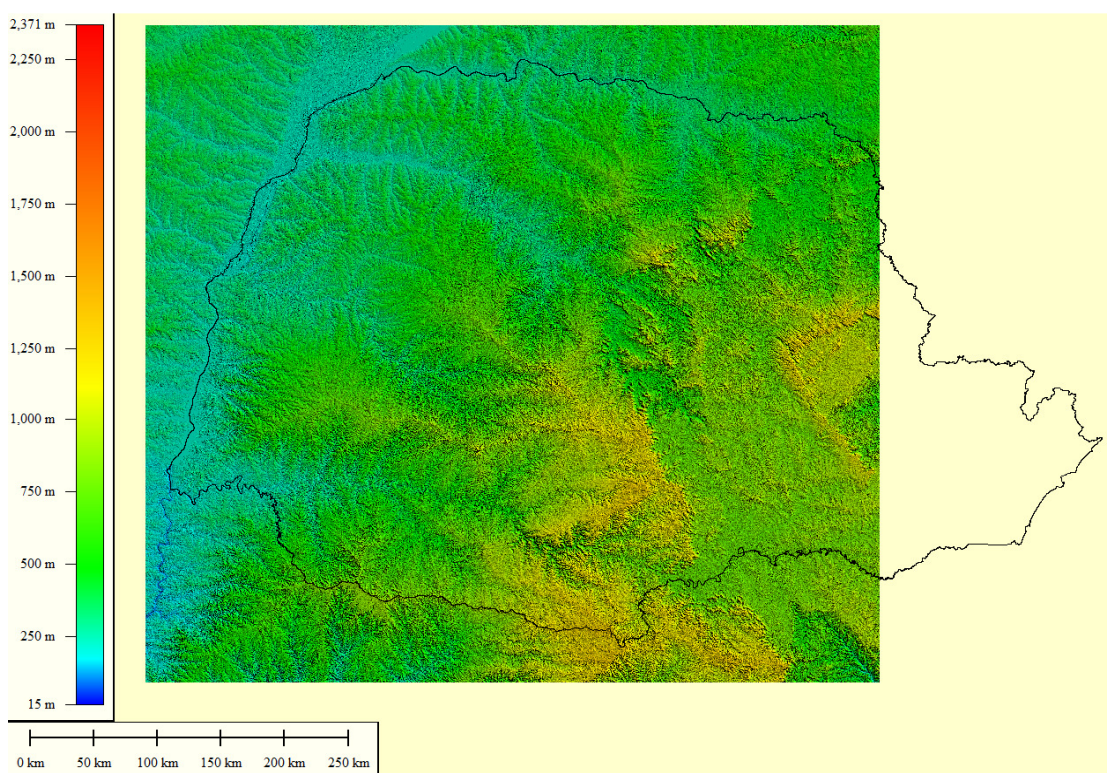


Figura 21: imagem *.bil* obtida do projeto SRTM, com gradação de cores para a altimetria do relevo.

3.1.3 Poços tubulares profundos

A função de abastecimento público é, sem dúvida, a mais importante dentre as atribuições de um aquífero. Desta maneira os poços destinados a este fim são dimensionados com maiores câmaras de bombeamento (mínimo

de 8”) para suporte a vazões elevadas que atendam a demanda crescente de abastecimento. Todos os poços tubulares utilizados nesta pesquisa estão em operação e são destinados ao abastecimento público dos municípios paranaenses.

Nesta pesquisa foram utilizados 337 poços tubulares profundos pertencentes à SANEPAR, Prefeitura de Marechal Cândido Rondon, Prefeitura de Pato Bragado e Prefeitura de Entre Rios do Oeste.

Nos 337 poços tubulares foram realizadas amostragens de água para determinação dos principais cátions e ânions, assim como determinados em campo os parâmetros: pH; temperatura e condutividade elétrica. A campanha de amostragem dos 337 poços ocorreu entre os anos de 2007 e 2009, vinculadas ao Projeto Rede Sul – LPH / UFPR.

Dados como coordenadas, profundidade do nível estático e dinâmico, vazão de bombeamento e espessura de solo, foram obtidos junto à ficha construtiva dos poços tubulares profundos. Ato contínuo, os resultados foram tabelados em planilha eletrônica, compondo o banco de dados do projeto.

A Figura 22 apresenta mapa com todos os poços tubulares profundos utilizados nesta pesquisa.

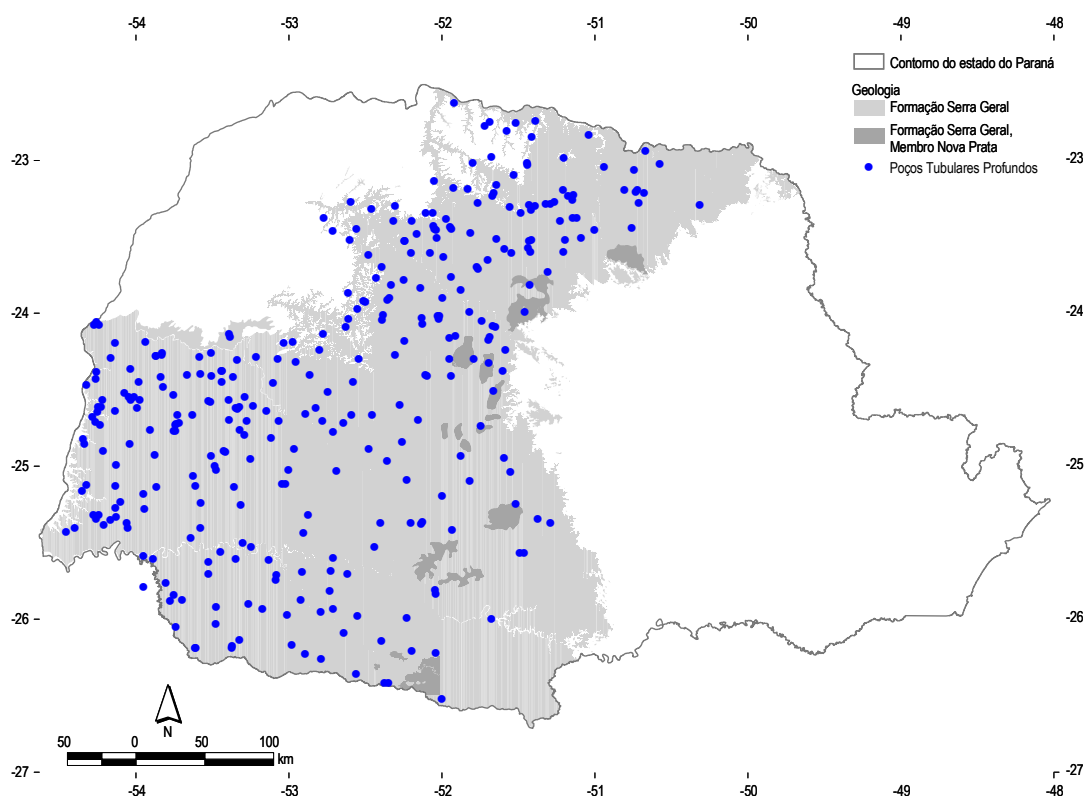


Figura 22: Poços tubulares profundos utilizados nesta pesquisa.

3.1.4 Índices de produção dos poços tubulares profundos: vazão de exploração e capacidade específica

A caracterização da produtividade dos poços do SASG no Estado do Paraná foi realizada a partir da análise estatística e distribuição espacial da vazão e capacidade específica dos 337 poços tubulares profundos cadastrados.

A vazão e o nível dinâmico dos poços referem-se a abril de 2010. Representam as condições de exploração dos poços tubulares, que em grande parte dos casos, possuem bombeamentos diários superiores a 17 horas, bem como série histórica de registros de vazão com mais de dois anos.

No cálculo da capacidade específica, o nível estático foi obtido mediante consulta nas fichas de perfuração dos poços. A vazão e o rebaixamento utilizados constam da ficha cadastral dos poços e compõem o banco de dados existente.

A denominação “índice de produção”, citada ao longo do texto se refere aos valores de capacidade específica e a vazão de exploração dos poços tubulares profundos.

3.2 Análise estatística e aplicação cartográfica dos dados hidrogeológicos

A análise estatística realizada nesta pesquisa teve duas principais aplicações: a definição de valores anômalos e a confecção das legendas dos mapas apresentados, ou seja, uma aplicação cartográfica.

A técnica de representação em escala de percentis utilizada nesta pesquisa teve como referenciais as escalas adotadas pelos serviços geológicos da Grã Bretanha, Estados Unidos, Finlândia e também pela MINEROPAR (Serviço Geológico do Estado do Paraná). Esta técnica permite um bom tratamento gráfico, item fundamental para correta apresentação dos resultados.

Uma representação esquemática com a análise realizada é apresentada na Figura 23.

Dentre os dados analisados e identificados nos mapas temáticos hidrogeológicos, foram considerados valores anômalos aqueles situados acima do terceiro quartil, ou seja, a partir da divisão de uma série ordenada de dados em duas partes, 75% dos dados são menores e 25 % dos dados são maiores que o terceiro quartil.

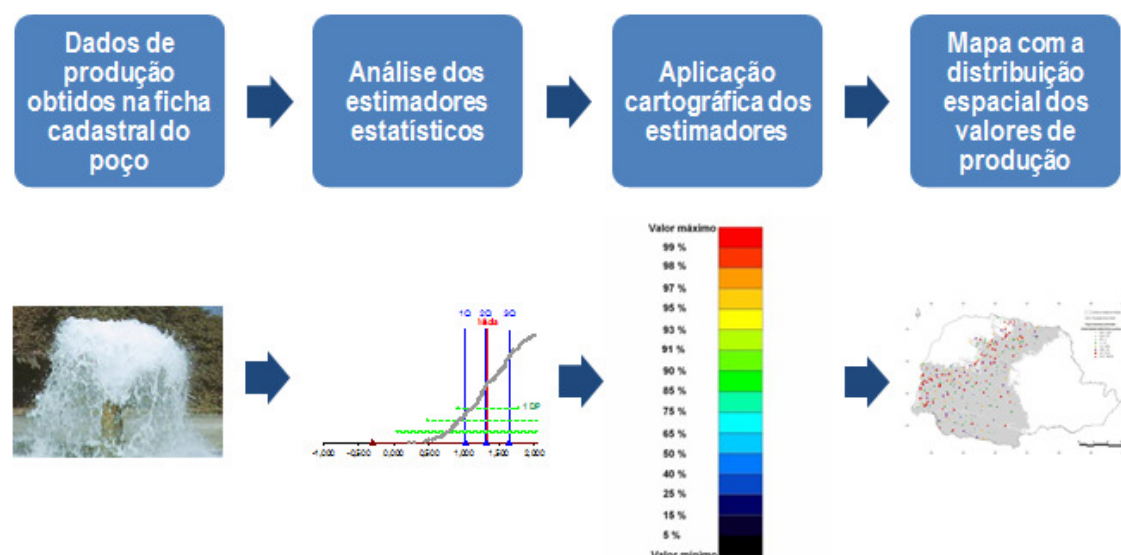


Figura 23: Representação das etapas de trabalho para aplicação cartográfica dos estimadores estatísticos.

As legendas foram elaboradas a partir dos estimadores estatísticos. Nos mapas, o diâmetro do ponto (poço tubular) é proporcional ao valor analisado. As cores utilizadas na legenda representam os estimadores e seguem o apresentado na Figura 24. A gradação de cores e tamanhos objetiva ressaltar as anomalias e agrupamentos de valores elevados.

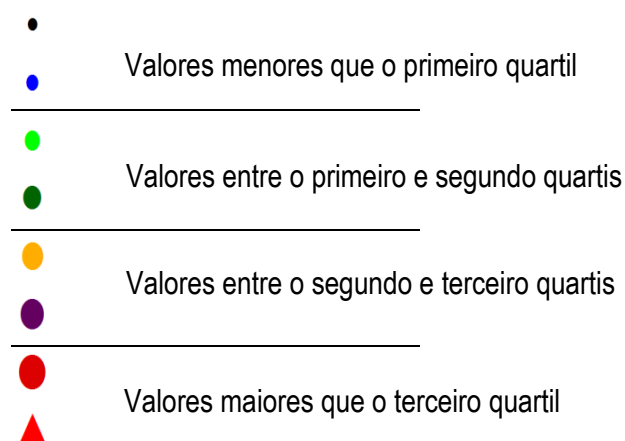


Figura 24: Representação da legenda utilizada nos mapas, subsidiada pelos estimadores estatísticos.

No decorrer do texto são apresentados histogramas e gráficos de correlação entre variáveis, com o objetivo de verificar a distribuição das frequências e a correlação entre variáveis, respectivamente. Todas essas análises foram elaboradas no programa *Statistica 7* (2008).

3.3 Compartimentação Hidroestrutural do SASG no Estado do Paraná

As províncias e compartimentos determinados nesta pesquisa foram elaborados a partir da integração dos dados de produção dos poços tubulares com o arcabouço estrutural.

O arcabouço do SASG foi determinado a partir da interpretação de dados geofísicos, geológicos e traçados de lineamentos estruturais, os quais serão detalhados a seguir.

A Figura 25 apresenta um esquema das etapas de trabalho para elaboração do arcabouço estrutural e Compartimentos Hidroestruturais do SASG.

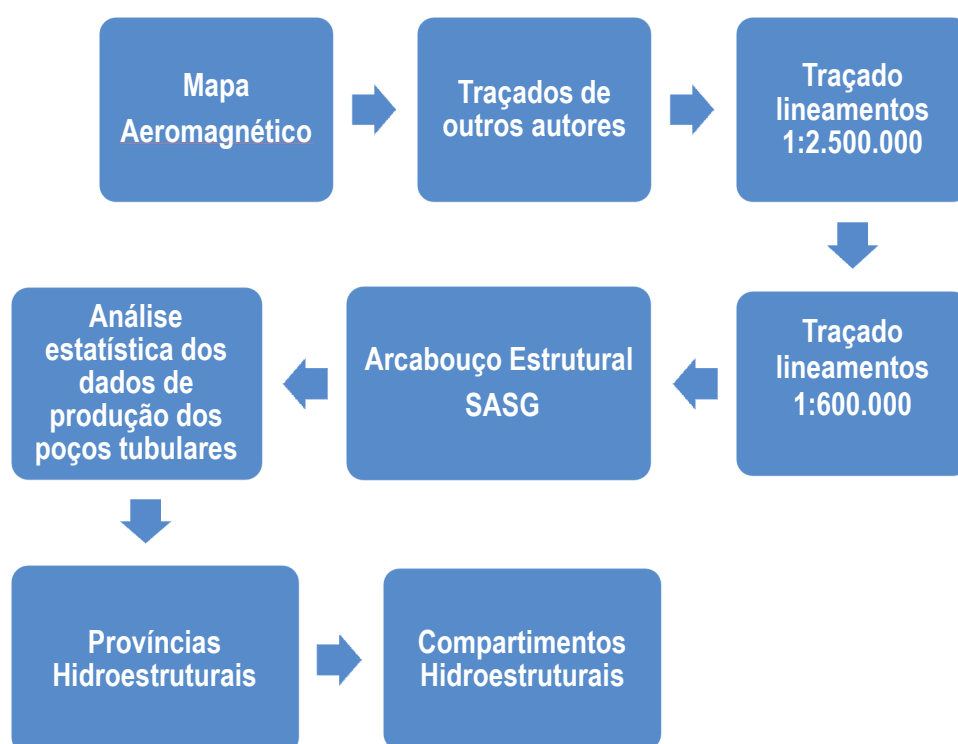


Figura 25: Representação esquemática das etapas de trabalho para elaboração do arcabouço estrutural e Compartimentos Hidroestruturais do SASG.

3.3.1 Mapa aeromagnetométrico

Objetivando auxiliar e fornecer subsídios à análise estrutural foram tratados, de forma simplificada, os dados aeromagnetométricos da área em estudo (Figura 26).

As informações são parte do banco de dados existente no LPGA – Laboratório de Pesquisas e Geofísica Aplicada da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

A partir dos dados pré-processados foi aplicado o procedimento de continuação ascendente, considerado um filtro de “limpeza” e frequentemente utilizado para remover ou minimizar sinais de fontes rasas e ruídos. Este filtro simula a aquisição de dados do campo magnético em níveis superiores ao original.

Em um primeiro momento foram executados os procedimentos para obtenção do sinal analítico. Em seguida, o processamento realizado objetivou as filtragens de continuação ascendente.

A continuação para cima (filtragens de continuação ascendente) visa excluir os sinais de menor comprimento de onda, referentes às fontes mais rasas, realçando assim as anomalias geradas em maior profundidade.

Foram elaboradas continuações em 1500m, 2000m e 3000m a partir dos dados da grade original e seus respectivos sinais analíticos (inclinação e amplitude) e foram traçados os lineamentos regionais interpretados. A integração destes lineamentos gera o mapa de arcabouço magnético do SASG.

Os procedimentos para obtenção do sinal analítico bem como das continuações para cima foram executados com o programa Oásis Montaj™ – Pacote MAGMAP. Todos os métodos de processamento utilizados encontram-se detalhados em Portela Filho (2003).

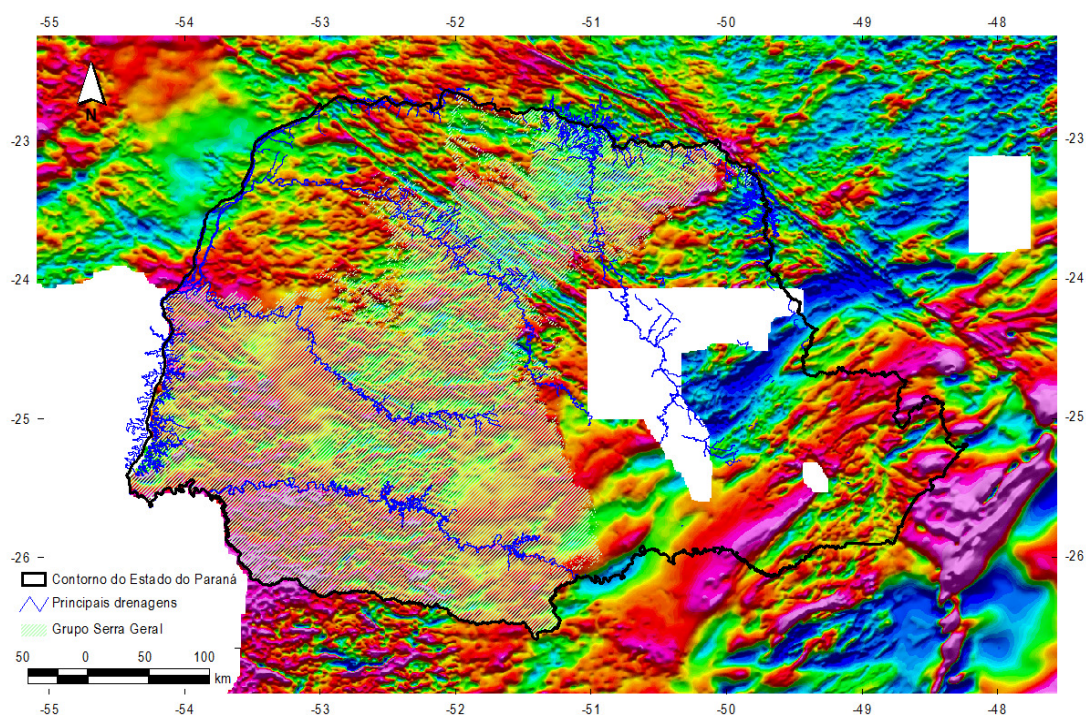


Figura 26: Mapa aeromagnético (campo total) do Estado do Paraná, com destaque para o SASG.

Fonte: LPGA (2010).

3.3.2 Arcabouço estrutural do topo do Aquífero Guarani

Soares (2007) propôs um novo mapa de lineamentos estruturais para o SAG, interpretado a partir de traçados de lineamentos em modelo digital de terreno e correlações estratigráficas mediante perfis estratigráficos de poços de petróleo e água subterrânea.

As estruturas foram mapeadas desde a Formação Irati, época de máxima inundação da bacia sedimentar, até o topo da Formação Botucatu, representando estruturas tectônicas com implicação na deposição e no fluxo do SAG.

Na presente pesquisa foram selecionadas as estruturas tectônicas identificadas por Soares (2007), recortadas para o Estado do Paraná, na área de afloramento do SASG. A Figura 27 apresenta os lineamentos citados, com destaque (em verde) para a área de ocorrência do SASG no Paraná.

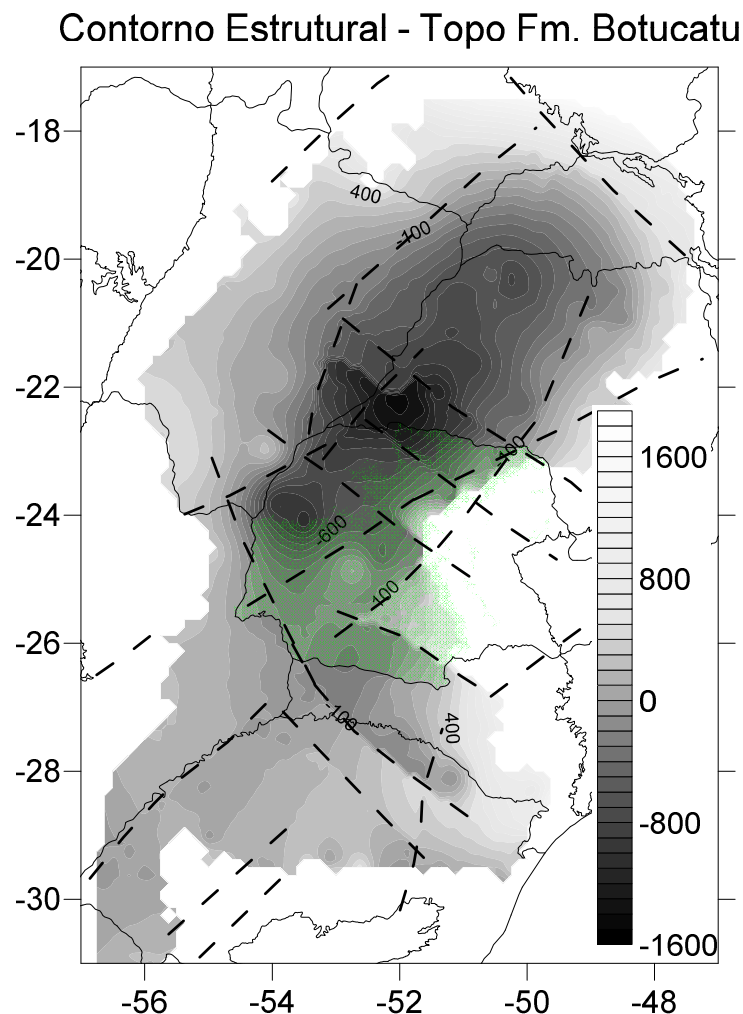


Figura 27: Mapa do contorno estrutural, topo da Formação Botucatu e área de afloramento do SASG no Estado do Paraná.

Fonte: Modificado de Soares (2007).

3.3.3 Traçados multiescala de lineamentos

O pressuposto que fundamenta esta análise são os lineamentos estruturais. O termo “lineamento” foi proposto em 1904 por Hobbs a fim de caracterizar a paisagem fraturada, tornando-se um termo consagrado, devido ao uso de imagens de satélite ou fotografias aéreas.

O’Leary *et al.* (1976) definiram lineamento como sendo uma feição da superfície terrestre que é “linear”, mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintivamente dos padrões de feições adjacentes.

A definição de lineamentos utilizada neste trabalho é aquela indicada por O’Leary *et al.* (1976).

Os lineamentos estruturais foram traçados sobre modelo digital do terreno (Figura 28), elaborado no programa *Global Mapper 11*, utilizando a base altimétrica do projeto SRTM.

Para a realização dos traçados dos lineamentos, utilizou-se nas imagens quatro pseudoiluminações, com as seguintes direções azimutais 45°, 315°, 0° e 90°, apenas lineamentos identificados em todas as iluminações são traçados.

Foram traçados lineamentos para toda área de afloramento do SASG paranaense, em duas escalas, 1 : 2.500.000 (199 lineamentos) e 1 : 600.000 (1.554 lineamentos).

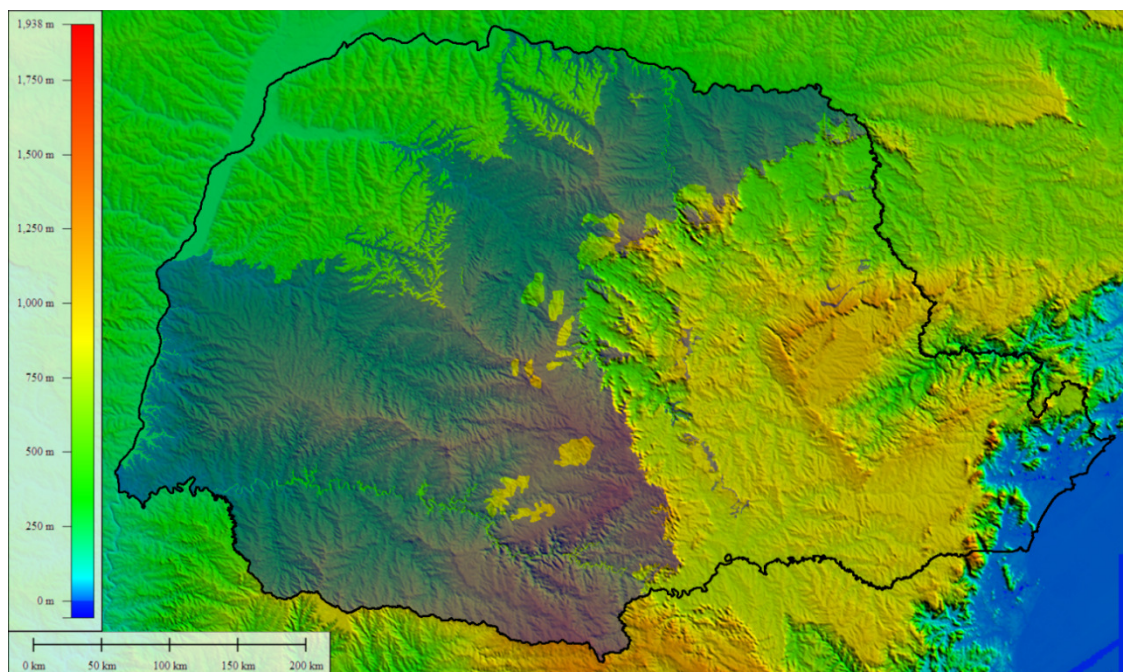


Figura 28: MDE utilizado no traçado dos lineamentos estruturais, com área de afloramento do SASG sombreada.

Os lineamentos traçados na escala 1:25.000 foram obtidos no trabalho de Athayde (2008), apenas para a área da Bacia do Paraná 3 (BP3). Neste caso foram utilizadas imagens orbitais (CBERS e LANDSAT 7) no traçado das estruturas na escala 1:25.000.

3.4 Condicionantes exploratórios do SASG no Estado do Paraná

O conhecimento dos condicionantes geológicos que potencializem a acumulação e circulação das águas nos aquíferos fraturados reduz significativamente o risco exploratório quando da locação de poços tubulares profundos.

A confrontação dos resultados de vazão e capacidade específica dos poços tubulares com os condicionantes exploratórios se aplica à escala regional aqui utilizada (1:600.000). Estudos de detalhe devem preceder as locações, considerando as inter-relações entre os condicionantes aqui utilizados.

3.4.1 Proximidade do poço tubular ao Arcabouço Estrutural

A comparação entre produtividade dos poços e proximidade de lineamentos estruturais foi realizada em duas escalas de traçado, 1:2.500.000 e 1:600.000.

Na escala 1:2.500.000 foram consideradas duas distâncias para seleção dos poços tubulares por proximidade da estrutura geológica: um e cinco quilômetros. Na escala 1:600.000 foram consideradas três distâncias de análise: cem metros, quinhentos metros e um quilômetro.

Em ambas as escalas de traçado a seleção dos poços foi realizada mediante a geração de polígonos cujos lados distam do lineamento a metragem proposta. A partir destes polígonos foram selecionados os poços situados no interior dos mesmos, em cada distância e escala de análise.

3.4.2 Espessura de solo e índices de produção

Para determinar se existe relação positiva entre a espessura de solo (fator considerado importante para a recarga) e a produtividade do aquífero foram utilizados os perfis de 226 poços tubulares com dados de espessura de solo para correlação com a produtividade dos poços tubulares.

Gráficos de correlação (espessura de solo e índices de produção dos poços tubulares) objetivam verificar se existe correlação entre os parâmetros e

desta forma considerar, ou não, a espessura de solo como condicionante exploratório.

3.4.3 Análise direcional multiescala

Em função dos lineamentos estruturais representarem estruturas geológicas muitas vezes favoráveis à circulação e armazenamento de água em aquíferos fraturados, é proposta uma análise relacionando a direção do lineamento onde o poço está locado, ou a estrutura mais próxima ao poço tubular profundo, e os índices de produção mais representativos.

O objetivo desta análise é verificar quais as direções apresentam produtividade mais representativa.

Na escala 1:600.000 foram realizadas duas análises, uma considerando todos os poços tubulares desta pesquisa e outra apenas com os poços situados próximo a Bacia do Paraná 3 (BP3).

Também é apresentada uma análise (direção x produtividade) na escala 1:25.000, para os poços localizados na BP3, bem como uma comparação dos resultados das duas escalas de análise.

3.4.3.1 Implicações tectônicas nos índices de produção dos poços tubulares profundos

Comparar as direções tectônicas extensionais regionais com os azimutes das estruturas localizadas sobre ou próximas ao poço permite identificar se existe controle tectônico na produtividade dos poços tubulares.

Para esta comparação foram utilizadas informações referentes à tectônica eocretácia obtida de diferentes autores.

Estudando o SAG na região do Arco de Ponta Grossa, Strugalle (2002) identificou dois conjuntos de estruturas tectônicas que condicionam a deposição e hidrodinâmica do SAG e possivelmente o SASG. O primeiro conjunto de estruturas é formado por um par conjugado de falhas onde a direção principal é representada por grandes falhas normais-sinistras, de direção N40-50W, em sua maioria preenchidas por diques de diabásio. A direção conjugada neste sistema é representada pela reativação de falhas dextrais pré – existentes, de direção N40-60E, bastante segmentadas pela direção principal. O segundo conjunto de estruturas é representado por fotolineamentos esparsos mas contínuos, onde ocorrem falhas de direção N-S (caráter normal) e E-W (caráter dextral) com pequenos rejeitos, que são mais recentes e segmentam as falhas do primeiro conjunto.

Fernandes *et al.* (2001 e 2011) analisaram a influência das estruturas tectônicas pós Cretáceas na produtividade de poços tubulares profundos na região de Campinas e Ribeirão Preto, estado de São Paulo. A Figura 29

apresenta os eventos tectônicos identificados, assim como as direções extensionais em cada um dos eventos para o município de Campinas – SP.

Age	Conjugate fracture patterns related to the events	Direction of shear and extension fractures (plan view)	Direction of shear fractures	Direction of extension fractures	Event name
Quaternary			N20-30W and N50-60E	N10-30E	E5–NNE
			N30-50W and N30-50E	NS	E4–NS
			WNW and NNW-NS	N30-60W	E3–NW
Neogene			N45-65W and N45-65E	EW	E2–EW
Paleogene Cretaceous			EW-ENE and NNE-NS	NE	E1–NE

Figura 29: Cronologia dos principais eventos tectônicos identificados na região de Campinas, Estado de São Paulo.

Em Ribeirão Preto – SP, com base no estudo das fraturas conjugadas e nos planos de falha estriados, Fernandes *et al.* (2011) identificaram quatro direções principais para o esforço máximo principal (σ_1): N75E, N55W, NS e N30E.

Outra fonte de dados sobre tensões tectônicas atuais é o projeto *World Stress Map* (WSM, 2008), que utiliza, dentre outros, dados de terremotos e ovalização de poços de petróleo para determinar os azimutes de máximo stress, neste caso, no continente sul-americano. Observa-se (Figura 30) que as direções identificadas pelo projeto WSM, mais próximas ao estado do Paraná, localizam-se no estado de São Paulo e Goiás e em territórios argentino e paraguaio.

As direções azimutais de máximo esforço atual apresentadas por Fernandes (2001 e 2012) e WSM (2008) foram comparadas com os intervalos azimutais de maior produtividade do SASG com intuito de verificar a influência da tectônica na obtenção de poços com índices de produção elevados.

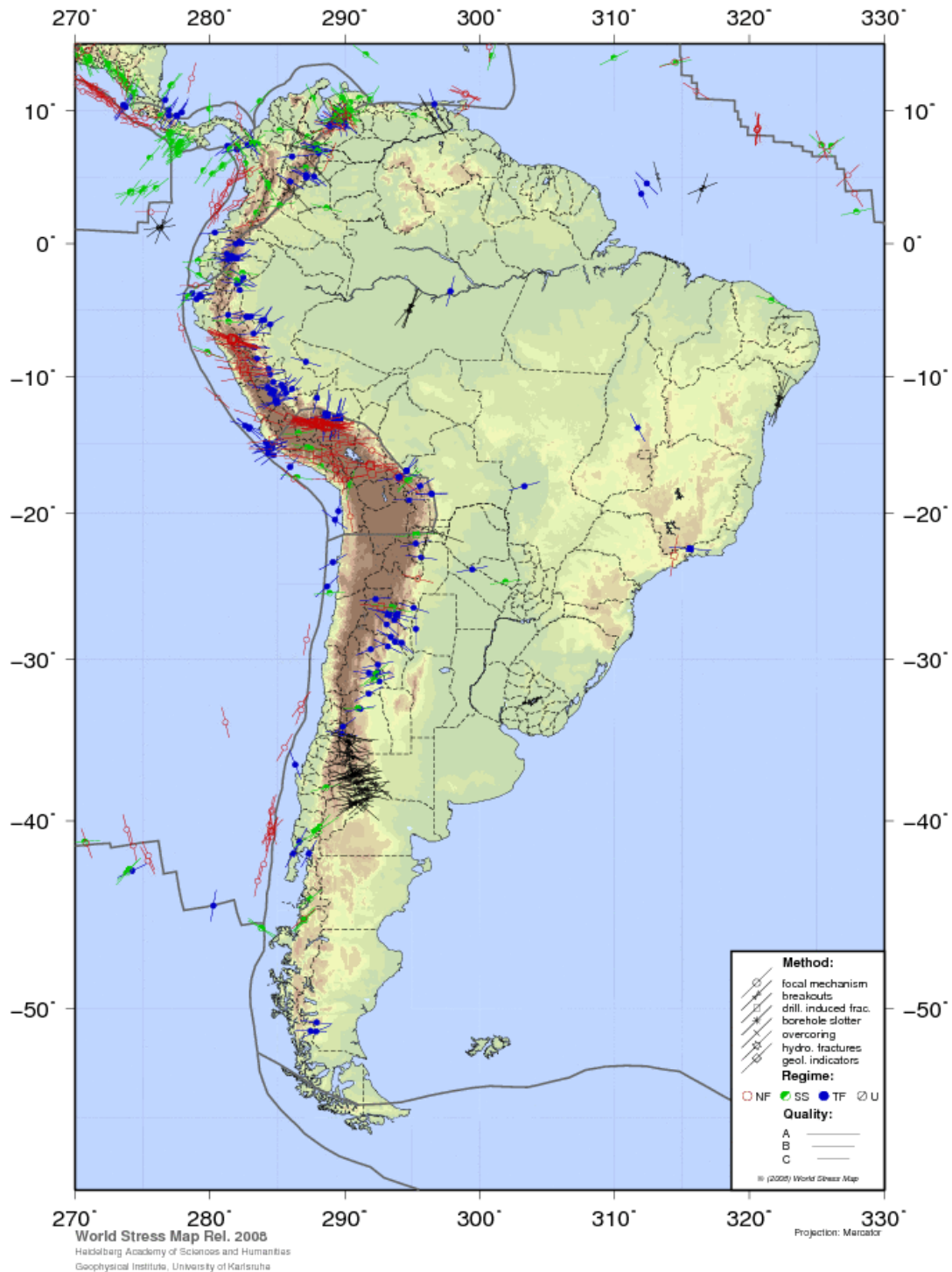


Figura 30: Mapa do continente sul-americano e dados do projeto *World Stress Map*.

3.4.4 Densidade de lineamentos

Densidade de lineamentos é comumente tratada como o número de segmentos isolados de fraturas, relacionadas a uma unidade de comprimento, área ou volume, para análises em uma, duas ou três dimensões, respectivamente.

A densidade é calculada a partir de um elemento conhecido da fratura, como por exemplo, centroide ou extremidade.

Nesta pesquisa, foi utilizado o programa *Arcgis* 9.3 para a elaboração do mapa de densidade de lineamentos. Conceitualmente o programa analisa um círculo ao redor de cada grid, a partir de uma distância determinada: raio de busca. Quanto maior o raio, menor será o detalhamento do mapa e mais generalizado o resultado.

A Figura 31 explica graficamente este conceito. É apresentada uma célula e o círculo de análise correspondente; L1 e L2 correspondem porções de segmentos de retas (neste caso lineamentos) localizados no interior do círculo. Nesta pesquisa a unidade métrica linear utilizada no programa foi metro, após conversões automatizadas, o resultado final é apresentado em densidade de lineamentos por quilômetro quadrado. Os algoritmos empregados pela extensão “*line density*” referenciam o trabalho de Silverman (1986).

Os lineamentos utilizados para os cálculos de densidade foram traçados na escala 1:600.000, conforme descrito no capítulo análise multiescala de lineamentos.

Os resultados de densidade foram tratados estatisticamente e caracterizadas áreas de alta densidade quando os valores ultrapassavam o terceiro quartil. A distância considerada no raio de busca foi 1500 metros.

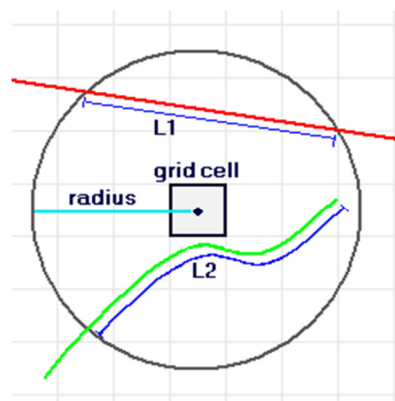


Figura 31: Célula e o círculo de análise correspondente; L1 e L2 correspondem porções de segmentos de retas (neste caso lineamentos) localizados no interior do círculo.

3.4.5 Geomorfologia regional

A comparação dos condicionantes geomorfológicos com valores médianos de capacidade específica e vazão dos poços permitiu identificar geomorfologias que subsidiem a locação de poços tubulares potencialmente produtores.

A partir do mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná de MINEROPAR (2006) foram relacionados os índices de produção dos poços tubulares e os seguintes condicionantes geomorfológicos: dissecação do relevo, forma dos topos, forma das vertentes e vales.

Separando os poços tubulares segundo os sub-compartimentos geomorfológicos propostos em MINEROPAR (2006a), se obteve a mediana da vazão e da capacidade específica para cada sub-compartimento.

Ato contínuo, os sub-compartimentos geomorfológicos foram classificados em alta, média e baixa produtividade. Na espacialização em mapa da classificação foram utilizadas três diferentes cores na legenda: vermelho quando os valores de produção do sub-compartimento são menores que o primeiro quartil, amarelo quando os valores de produção do sub-compartimento situam-se entre o primeiro e terceiro quartis, e verde quando valores de capacidade específica e vazão do sub-compartimento são maiores que terceiro quartil.

3.5 Mapa Potenciométrico do SASG no Estado do Paraná

O mapa potenciométrico do SASG foi confeccionado a partir diferença entre a altitude da “boca do poço” (obtida através da altimetria do projeto SRTM) e a profundidade dos níveis estáticos nos 337 poços tubulares profundos.

Cabe ressaltar que as medidas de profundidade do nível estático referem-se a diferentes datas, obtidas quando da perfuração dos poços. Para obtenção de uma medida mais real, seria necessário paralisar o bombeamento em todos os poços, e aguardar a recuperação e estabilização do nível estático, atividade inexequível, uma vez que todos os poços aqui analisados são utilizados para abastecimento público.

Desta forma, e em função de tratar-se de um aquífero fraturado (com ausência de porosidade primária), o mapa potenciométrico apresentado deve ser considerado como uma aproximação virtual da superfície equipotencial do SASG.

No mapa potenciométrico, as linhas equipotenciais (que representam a intersecção da superfície potenciométrica com um plano de cota potenciométrica definida) estão referenciadas em metros sobre o nível do mar (m.s.n.m.).

3.6 Espessura do SASG

A espessura do SASG foi obtida mediante análise dos perfis construtivos de poços tubulares perfurados até o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná descritos por Hindi (2007).

3.7 Análise hidroquímica do SASG no Estado do Paraná

A composição química das águas subterrâneas está associada a uma série de processos e reações químicas que ocorrem no aquífero desde a sua recarga até a descarga. Na medida em que a água subterrânea se move, espera-se que sua acidez seja neutralizada pelas reações de intemperismo químico e que haja um aumento nos sólidos totais dissolvidos.

Desta forma, portanto, espera-se que águas de fluxos rasos e com pequeno tempo de trânsito no aquífero sejam mais ácidas e com menor STD; ao passo que a água com altos valores de pH e STD representem fluxos mais profundos, com menor velocidade e maior tempo de trânsito (Bertolo, 2007).

O estudo do equilíbrio termodinâmico entre os minerais e a água, bem como a classificação da água quanto ao seu conteúdo iônico, dependem de análises físico-químicas que representem fielmente a composição da água no seu estado natural, dissolvidas na água na forma de íons simples ou complexos (Hindi, 1999).

Em estudos hidroquímicos, é necessário que as concentrações das espécies determinadas nas análises físico-químicas, normalmente expressas em miligramas por litro (mgL^{-1}), sejam convertidas para a molalidade, uma vez que a combinação entre os elementos ocorre na relação direta entre o número de moles. Desta forma os resultados foram transformados para miliequivalente para realização da classificação química e das relações iônicas utilizadas para dedução da rocha / mineral fonte.

Os laudos analíticos do LPH utilizados nesta pesquisa apresentam o rol mínimo de 32 parâmetros. A consistência e qualidade dos dados serão avaliadas com base na diferença de balanço iônico (DBI), que mede a diferença relativa entre as concentrações de cátions e ânions, expressa em miliequivalentes por litro (meqL^{-1}) pela seguinte fórmula:

$$\text{DBI} = (\Sigma \text{ cátions} - \Sigma \text{ ânions}) / (\Sigma \text{ cátions} + \Sigma \text{ ânions})$$

3.7.1 Relações iônicas

A composição inicial da água subterrânea tem origem na precipitação meteorológica. Durante o intemperismo das rochas, elementos como cálcio, magnésio, sulfato, bicarbonato e sílica são adicionados à água. A quantidade

de cada elemento vai depender da mineralogia da rocha e em muitos casos pode-se deduzir a rocha fonte a partir das análises físico-químicas da água.

A proposta de utilizar as relações iônicas é inferir a fonte dos elementos químicos dissolvidos. Não é um procedimento infalível, mas pode ser bastante útil para estudos hidroquímicos iniciais.

A relação bicarbonato / cloreto é útil para determinar a direção de fluxo e distância a partir da área de recarga. A relação diminui na direção do fluxo em função da dissolução do cloreto. Sendo assim, são esperados valores maiores representando poços mais próximos à área de recarga.

A relação bicarbonato / sílica é útil para determinar se a fonte dos elementos dissolvidos na água é oriunda da alteração de carbonatos ou silicatos.

Fontes de cálcio podem ser descritas como a partir da gipsita ou outras fontes como calcita, dolomita e outros silicatos a partir da análise da relação entre cálcio e sulfato.

Nesta pesquisa, foram utilizados os índices hidrogeoquímicos e o fluxograma para dedução de fontes e origens minerais (Figura 32) proposto por Hounslow (1995).

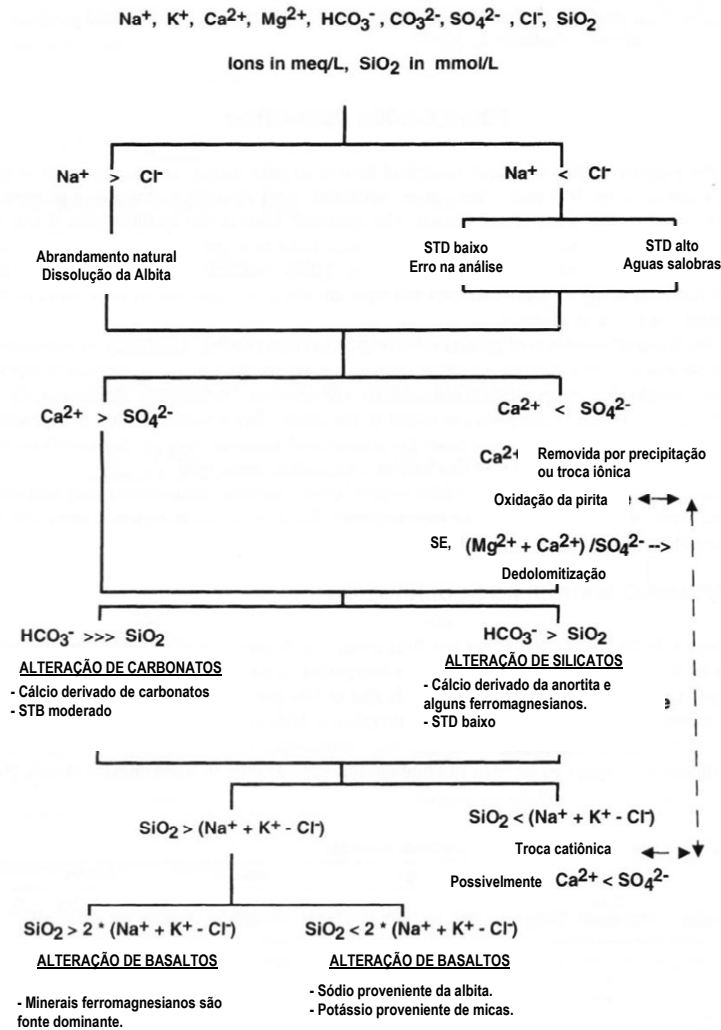


Figura 32: Fluxograma esquemático para dedução simplificada da rocha / minerais fonte dos elementos dissolvidos na água. Fonte: [modificado de Hounslow (1995)].

3.7.2 Classificação química das águas

Após a transformação dos dados de mgL^{-1} para meqL^{-1} com obtenção da DBI, foram calculadas as porcentagens relativas de cada variável hidroquímica para determinar a tipologia das águas, com base na predominância dos cátions e ânions principais.

Os tipos de água foram determinados inicialmente com base na presença de mais de 50% dos compostos químicos. As águas cujos compostos químicos não atingem 50%, são denominadas pelos compostos químicos que apresentaram as duas maiores porcentagens.

A classificação química da água foi feita pelo método de íons dominantes, utilizando-se o diagrama de Piper (1945) para representação dos resultados.

O diagrama de Piper é usado para classificar e representar graficamente o tipo químico da água subterrânea, de acordo com a espécie predominante, e também, para definir a evolução química das águas.

Nesse diagrama, distinguem-se três campos com os dados plotados em % meq L⁻¹:

- campo dos cátions, Na⁺ + K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺
- campo dos ânions, Cl⁻, SO₄²⁻ e HCO₃⁻ + CO₃²⁻
- campo dos resultados, onde os pontos encontrados nos campos anteriores são projetados.

O cruzamento do prolongamento dos dois pontos (campo dos cátions e campo dos ânions) no campo dos resultados define a posição do ponto.

3.7.3 Aptidão das águas para consumo *in natura*

Para verificar a aptidão de uso *in natura*, os valores obtidos nas análises físico-químicas das águas foram comparados aos valores de referências decretados nas seguintes Legislações Federais:

- Resolução CONAMA 369/08 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências (Brasil, 2008).
- Portaria MS 2914/2011 – Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2011).

3.7.4 Aptidão das águas para irrigação

O uso da água subterrânea para irrigação é limitado pelos efeitos adversos ao solo e plantas, relacionados à presença de substâncias dissolvidas na água, associados à salinidade total da água e ao conteúdo de sódio em solução.

A água com conteúdo elevado de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) causa “risco de salinidade” sendo tóxica para as plantas. Concentrações elevadas de sólidos dissolvidos no solo podem causar uma condição de seca fisiológica, na qual, apesar do solo estar úmido a planta irá murchar, pois as raízes não conseguirão absorver água. A concentração de sólidos totais dissolvidos, às vezes denominados salinidade total, pode ser medida indiretamente pelo valor

da condutividade elétrica da água, já que estas duas grandezas são linearmente dependentes (Rosa Filho e Hindi, 2006).

A irrigação com água contendo quantidades significativas de Na^+ causa o “risco de sódio”, devido aos efeitos deste íon no solo. O sódio é adsorvido pelas partículas do solo, tornando-o duro e compacto quando seco e impermeável à percolação da água. Os solos de textura fina, com alto conteúdo de argila são os mais susceptíveis aos efeitos do sódio. A presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} em altas concentrações no solo ajudam a controlar os efeitos do sódio e a manter as propriedades texturais e estruturais deste.

O risco do sódio é expresso em termos de SAR (*sodium adsorption ratio*), que compara as concentrações de sódio, cálcio e magnésio na água. O SAR é calculado pela seguinte equação:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{1}{2}([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}}$$

onde, $[Na^+]$, $[Ca^{2+}]$, e $[Mg^{2+}]$ são as concentrações desses íons, expressas em mmol L^{-1} .

A avaliação da qualidade da água para fins de irrigação é feita pela aplicação do diagrama que relaciona a razão de adsorção de sódio (RAS) com a condutividade elétrica da água, desenvolvido pelo U.S. Salinity Staff (1954), indicando os riscos potenciais de sódio e salinidade.

O risco de sódio é indicado no eixo das ordenadas em quatro classes de risco: baixo, médio, forte e muito forte.

O risco de salinidade está indicado no eixo das abscissas em seis classes de risco: nulo, baixo, médio, alto, muito alto e excepcionalmente alto. Os campos definidos pela intersecção dessas classes definem se a água é adequada ou não para irrigação.

3.7.4 A questão da mistura de águas com o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná

Ao identificar águas no SASG com características diferentes do padrão químico bicarbonatada cálcica, levantamos a hipótese de mistura de águas entre o SAG e SASG em função da semelhança química entre estas águas.

A mistura de águas apenas é possível quando existem relações potenciométricas favoráveis, ou seja, quando a superfície potenciométrica do SAG está em cota superior à superfície potenciométrica do SASG.

Sem a informação sobre o quimismo de ambos os sistemas aquíferos, variações dentro do próprio SASG podem decorrer da heterogeneidade química das rochas e serem interpretadas devida a mistura de águas.

Para caracterizar os tipos químicos do SAG foram utilizadas as análises físico-químicas de 99 poços que captam o SAG, apresentadas em Hindi (2007).

3.7.4.1 Relações potenciométricas regionais

A relação potenciométrica entre os aquíferos é analisada comparando a cota do nível estático nos poços do SASG com a cota potenciométrica “virtual” do SAG paranaense proposto por Hindi (2007) e apresentado na Figura 33.

Quando o nível estático do SASG situa-se em cotas inferiores a superfície potenciométrica do SAG existe a possibilidade física (relação de pressão entre os aquíferos) de conectividade / mistura de águas entre esses. Ressalta-se a necessidade de estruturas tectônicas e/ou atectônicas que permitam a conectividade entre os sistemas aquíferos.

Destaca-se a existência de jorrância em poços do SAG em porções confinadas do aquífero, recobertas pela Fm. Serra Geral. Hindi (2007) descreveu nascentes termais na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu com quimismo semelhante ao SAG (situado a 800 metros de profundidade).

A profundidade do nível estático dos poços que captam o SAG no Estado do Paraná, proposto por Hindi (2007) pode ser observada no mapa apresentado na Figura 34.

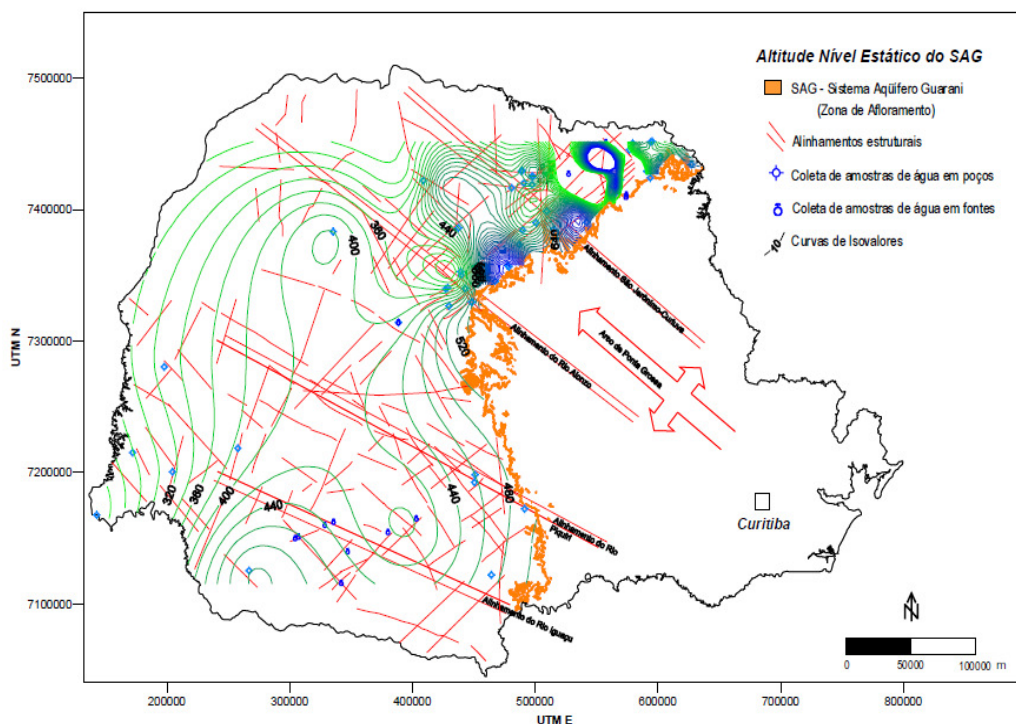


Figura 33: Mapa da altitude do nível estático no SAG paranaense (Hindi, 2007).

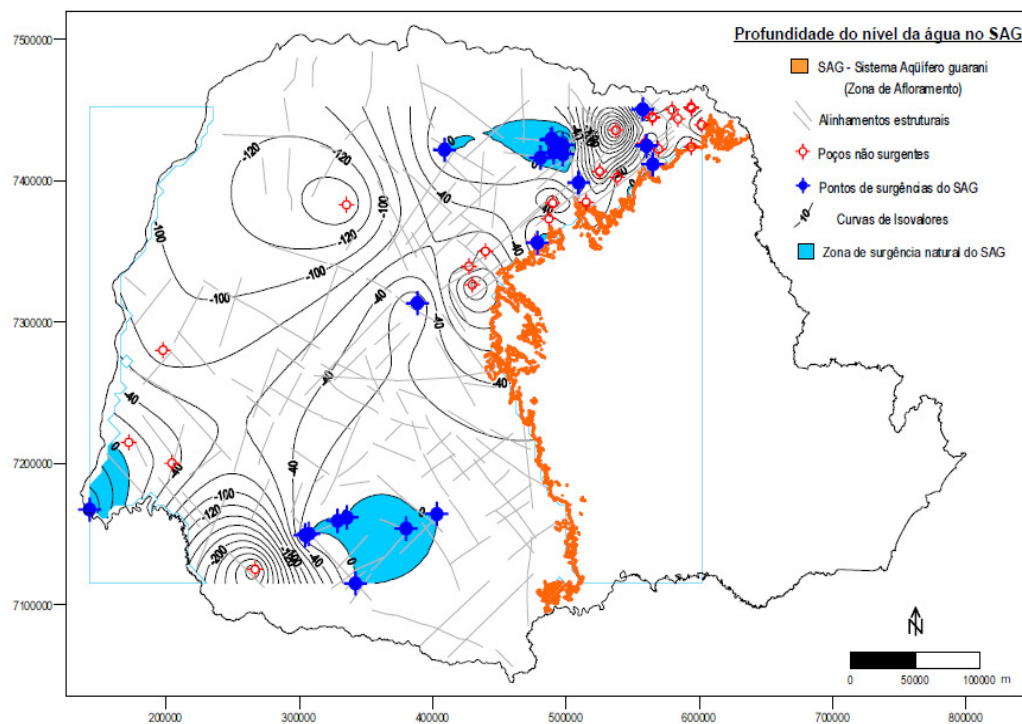


Figura 34: Mapa da profundidade da água no SAG paranaense (Hindi, 2007).

Na região oeste do Paraná, Athayde *et al* (2007) sugerem a mistura de águas entre o SASG e o SAG, ilustrando (Figura 35) esquematicamente as relações potenciométricas e similaridades químicas entre poços de ambos aquíferos.

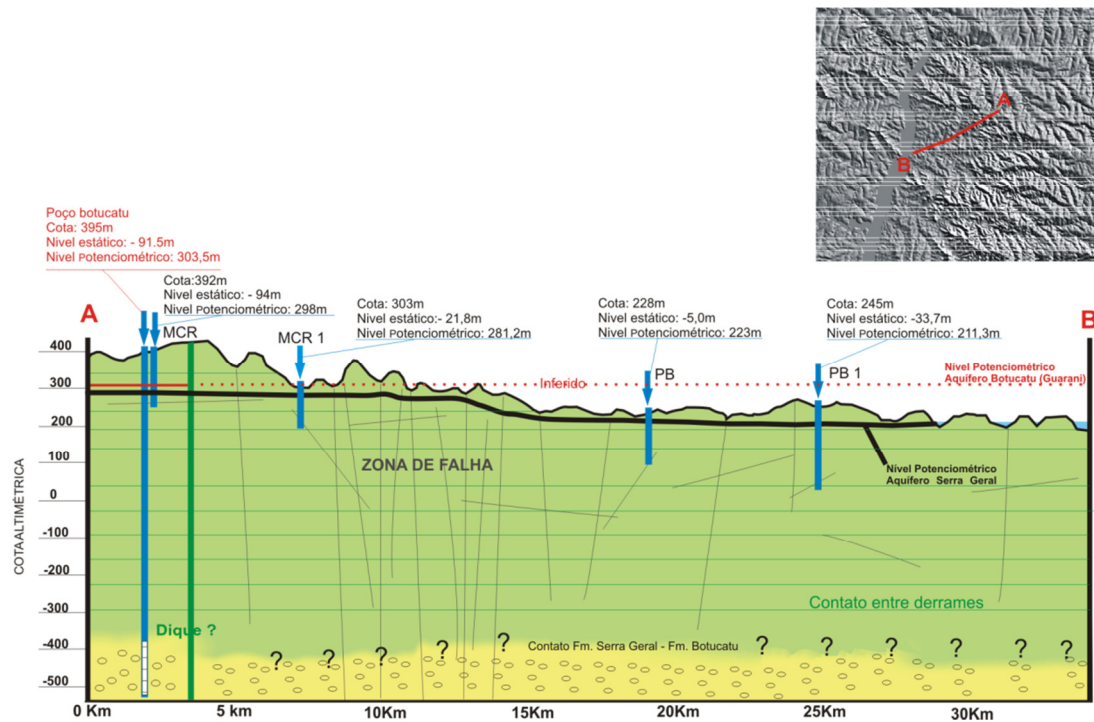


Figura 35: Perfil hidrogeológico esquemático ilustrando a possibilidade de mistura de águas entre o SASG e o SAG no oeste paranaense.

A rotina de análise utilizada nesta pesquisa para identificar zonas de agrupamento de poços tubulares que representem possivelmente a misturas de águas entre o SASG e o SAG pode ser assim resumida:

- Caracterização da mediana da cota do nível estático de todos os poços do SASG;
- Traçado da cota potenciométrica do SAG selecionada, neste caso 400 m.s.n.m;
- Seleção dos poços, mediante técnicas de geoprocessamento, que apresentem relações potenciométricas favoráveis à mistura de águas (ascensão das águas do SAG);
- Classificar os tipos químicos de ambos os sistemas aquíferos e dos poços no SASG com condições potenciométricas favoráveis;
- Identificar poços no SASG que apresentem quimismo similar ao SAG e que possuam relações potenciométricas favoráveis à conectividade e mistura de águas;
- Delimitar zonas de agrupamento de poços onde é maior a probabilidade de mistura de águas entre os aquíferos.

4. RESULTADOS

4.1 Aspectos gerais do SASG

4.1.1 Características hidrogeológicas dos poços tubulares profundos

As variáveis hidrogeológicas nível estático, nível dinâmico, profundidade das entradas de água, profundidade perfurada e vazão, separadas em porcentagem, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Percentis das variáveis hidrodinâmicas do SASG no Paraná.

Percentil	Cota NE(m)	Cota ND (m)	Q (m ³ /h)	Profundidade do poço (m)	Q/S (m ³ /h.m)	Profund. EA (m)	Profund. NE (m)
Máximo	1157,35	1144,08	250,00	432,00	304,62	306,00	141,04
99	1060,23	1023,96	160,38	300,00	37,30	235,12	129,48
98	991,75	973,83	131,98	275,76	33,66	209,16	98,60
97	933,75	913,08	121,55	252,16	25,31	189,00	87,63
95	859,28	818,94	100,00	250,00	16,89	180,90	69,00
95	798,87	783,37	92,77	231,12	11,88	168,46	61,23
91	736,40	699,32	79,91	204,00	9,77	154,01	53,43
90	719,96	693,38	75,92	202,60	9,18	150,00	50,43
85	661,64	647,83	62,49	182,40	6,30	135,35	35,45
75	570,80	549,92	42,59	150,00	4,18	114,00	25,01
65	516,58	493,21	35,00	150,00	3,03	93,15	18,18
50	450,46	421,00	20,57	130,00	1,54	77,00	12,60
40	410,63	388,70	16,86	113,80	1,09	67,40	8,62
25	332,80	322,03	10,35	99,00	0,59	50,75	5,00
15	290,31	273,95	7,50	80,00	0,29	41,65	3,26
5	224,07	200,93	4,52	63,60	0,10	27,55	1,53
Mínimo	14,8	14,6	0,5	30,0	0,0	6,0	0,0
Média	469,70	445,77	21,5	137,00	1,5	31,46	18,08
Número de ocorrências	329	330	333	333	329	312	322

Q= vazão / Q/S= capacidade específica / EA = entrada de água / NE= nível estático.

Para os 337 poços tubulares, os valores de profundidade perfurada possuem mediana de 130 metros e terceiro quartil corresponde à profundidade de 150 metros. A Figura 36 apresenta o histograma com a distribuição do número de poços em função da profundidade perfurada.

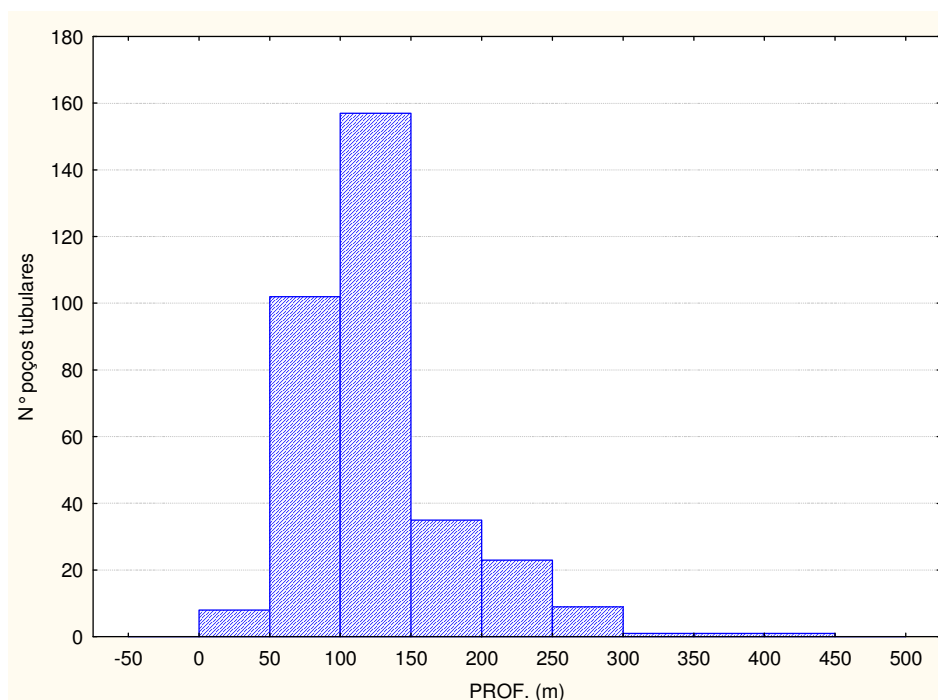


Figura 36: Histograma com os dados de profundidade dos poços tubulares utilizados nesta pesquisa.

A análise dos dados cadastrais dos poços indica que não existe correlação entre a profundidade perfurada e incremento na produção do poço. As maiores vazões são encontradas em poços com profundidades entre 100 e 150 metros.

Da mesma maneira, a capacidade específica tende a diminuir com a profundidade do poço. De certa forma isso é esperado, pois um poço só é aprofundado quando os volumes das entradas de água superiores não atendem a demanda proposta (Figura 37). Outra hipótese é que com o aumento da profundidade e pressão litostática ocorre o fechamento de aberturas em profundidade.

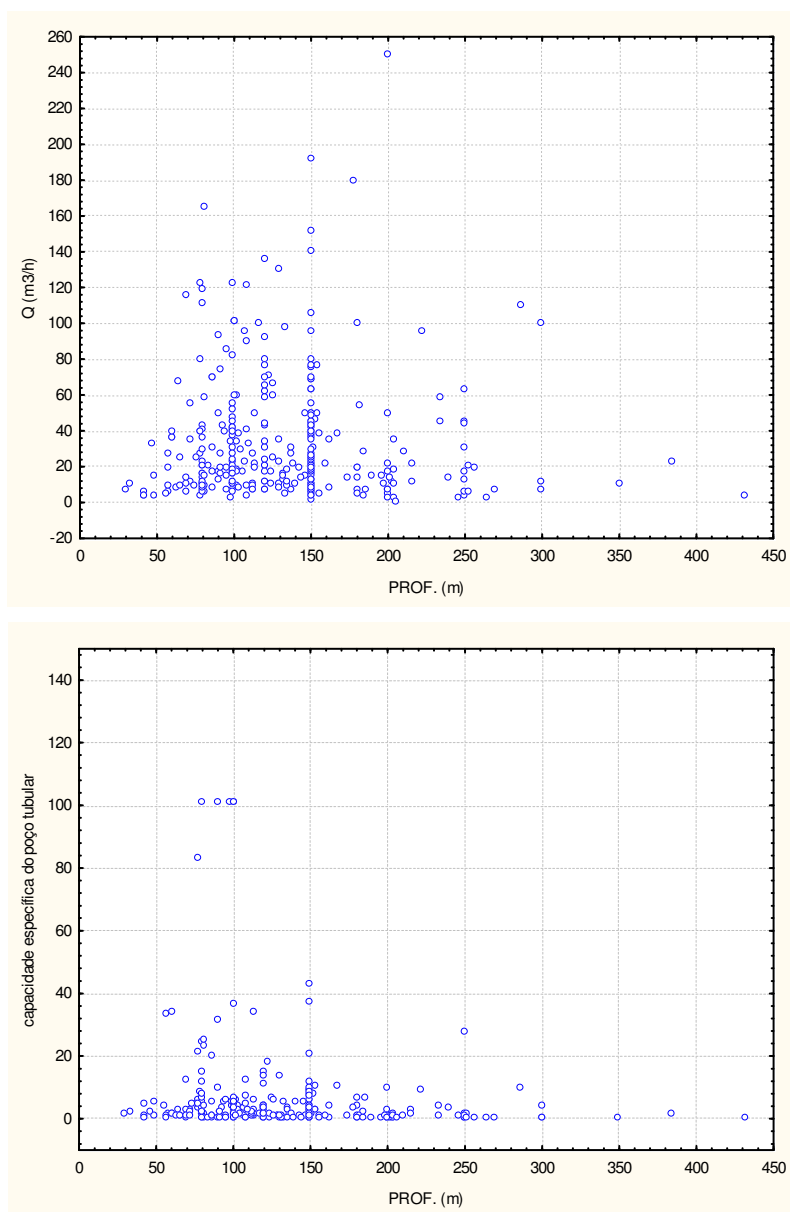


Figura 37: Gráficos de correlação entre a profundidade dos poços e os índices de produção: vazão (gráfico superior) e capacidade específica (gráfico inferior)

Foram descritas entradas de água até 180 metros de profundidade, entretanto, predominam entradas mais superficiais, com médiana de 25 metros, e 41 metros correspondendo ao terceiro quartil. A Figura 38 apresenta o histograma com a distribuição do número de poços em função da profundidade da entrada de água mais profunda do poço.

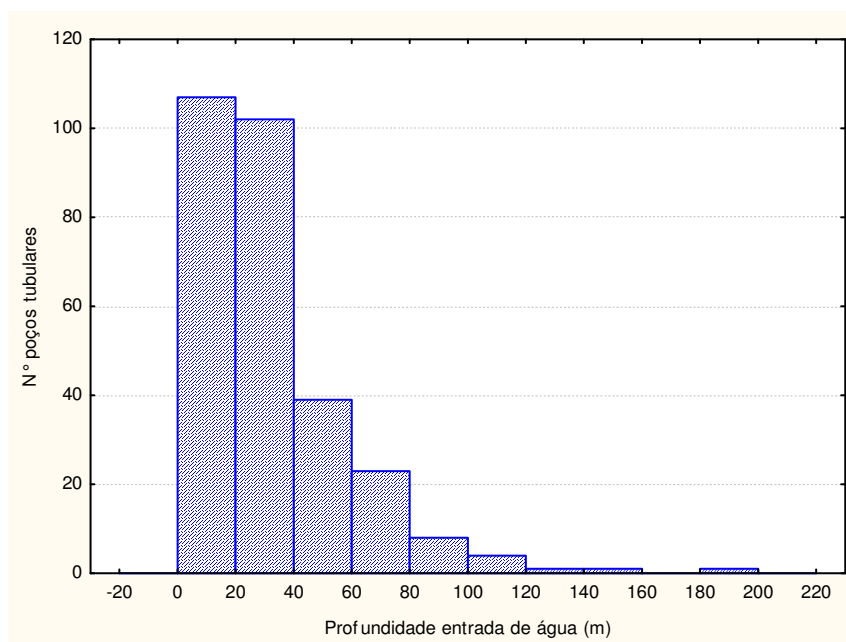


Figura 38: Histograma com a distribuição do número de poços em função da profundidade da entrada de água mais profunda do poço

Os índices de produção dos poços tubulares também apresentam valores decrescentes conforme aumenta a profundidade da entrada de água. A Figura 39 apresenta gráfico de correlação entre os índices de produção e a profundidade da entrada de água no poço tubular. Nessa figura, observa-se que os maiores índices de produção dos poços estão associados a entradas de água mais rasas, até 40 metros. Foi eliminado um poço com capacidade específica de $304 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ para melhor apresentação gráfica.

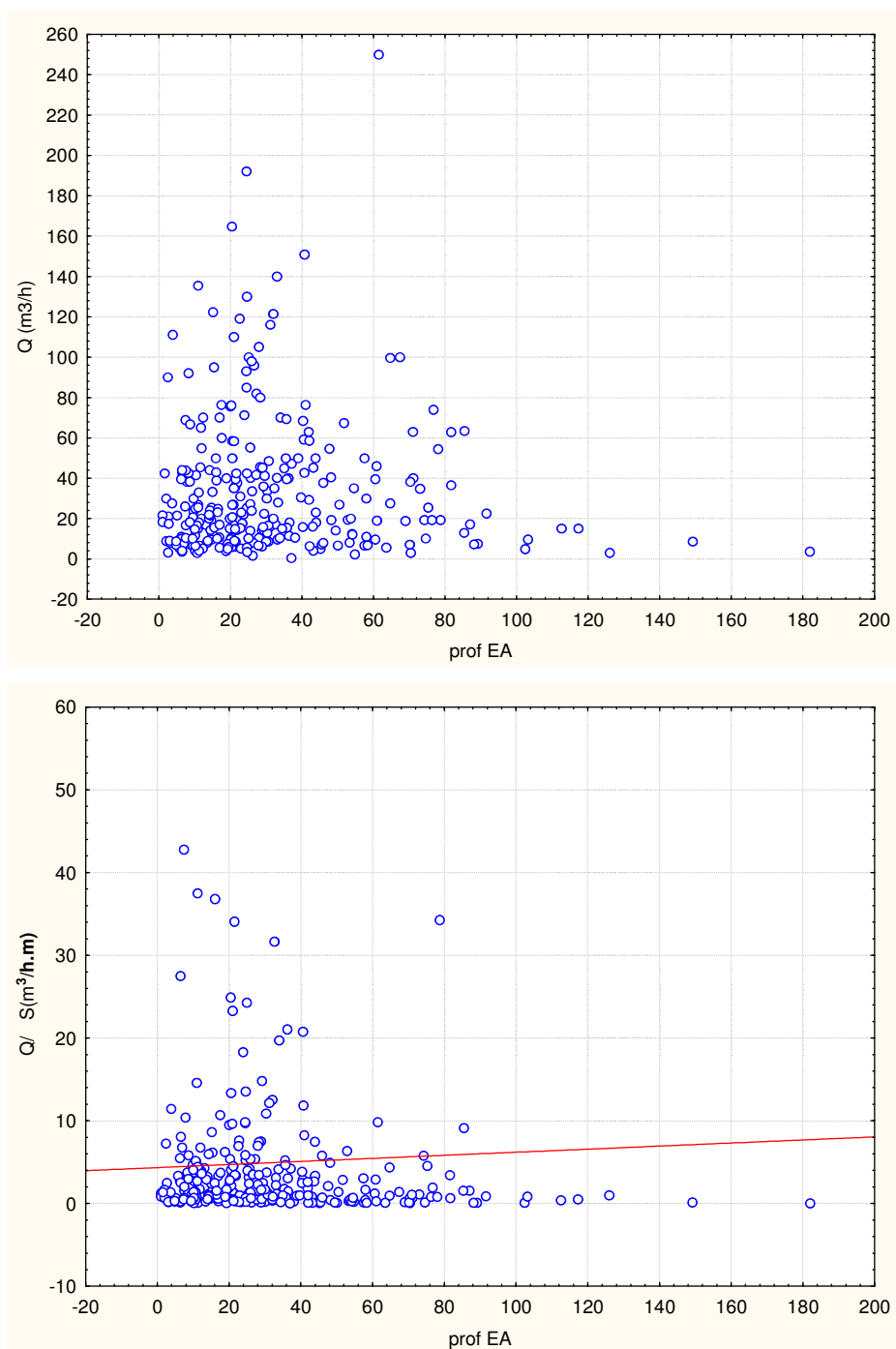


Figura 39: Gráficos de correlação entre os índices de produção e a profundidade da entrada de água no poço tubular. Gráfico superior apresenta a correlação com a vazão e o inferior com a capacidade específica.

4.1.1.1 Vazão de produção

A média geométrica dos valores de vazão dos 337 poços tubulares é igual a $21,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, com desvio padrão de $1,2 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e coeficiente de variação de 5,7% (Tabela 4). Nesta tabela, os valores de vazão obtidos foram transformados em logaritmo e posteriormente foi calculado o antilog para preenchimento da tabela com valores em m^3h^{-1} .

O histograma deste elemento pode ser observado na Figura 40. O gráfico com os dados do elemento, os intervalos de um, dois e três desvios geométricos ao redor da média, e a identificação do primeiro, segundo e terceiro quartis é mostrado na Figura 41, nessa última os valores não convertidos em antilog.

A distribuição espacial do parâmetro analisado é apresentada na Figura 42. Nessa figura, em tons de vermelho são apresentados os poços com vazão acima do terceiro quartil.

Tabela 4: Estatística univariada dos valores de vazão (m^3h^{-1}).

Análise da amostra	
Quantidade de dados	337
Valor mínimo	0,5
Valor máximo	223,3
Medidas de tendência central	
Média geométrica	21,5
Médiana	20,6
Moda	18,0
Medidas de dispersão	
Variância	1,5
Desvio padrão geométrico	1,2
CV	5,7%
Medidas de posicionamento	
Primeiro Quartil	10,6
Segundo Quartil	20,6
Terceiro Quartil	43,7
Outras medidas	
Coeficiente de inclinação	-0,18
Coeficiente de curtose	-0,12

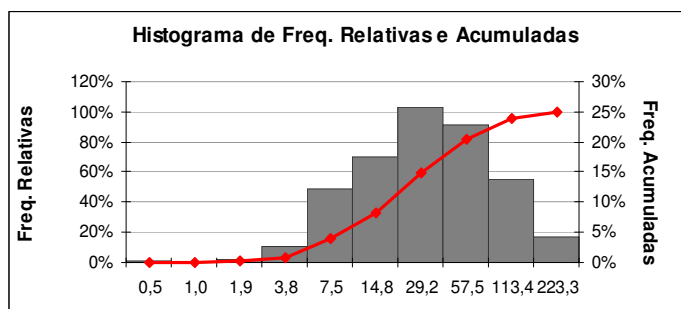


Figura 40: Histograma das amostras coletadas no SASG para o parâmetro vazão.

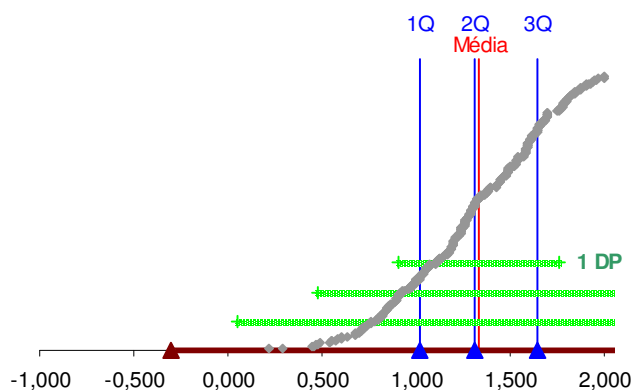


Figura 41: Gráfico com a análise numérica do parâmetro vazão, em escala logarítmica.

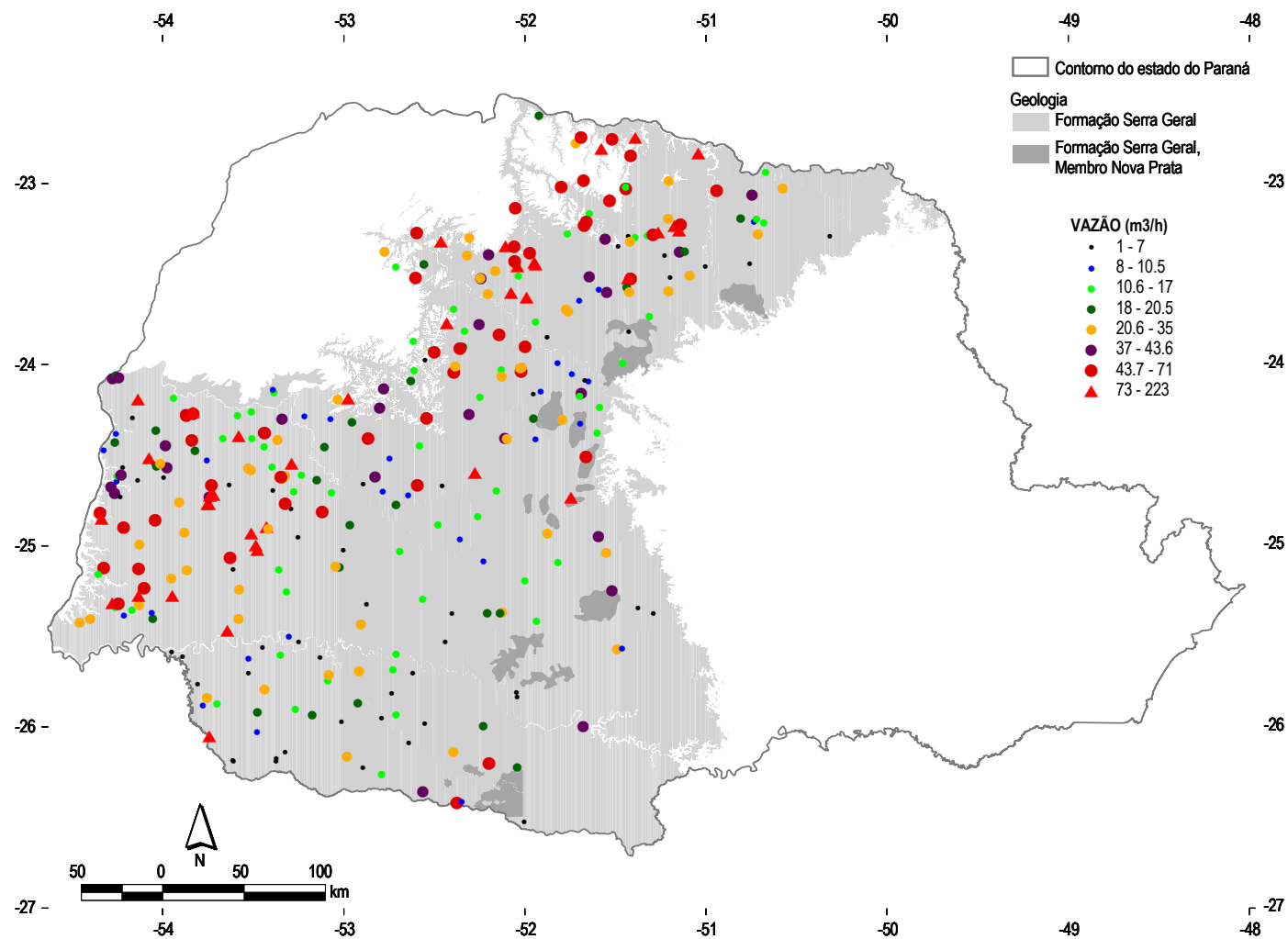


Figura 42: Mapa com a distribuição espacial do parâmetro vazão (m^3h^{-1}).

4.1.1.2 Capacidade específica

A média geométrica dos valores de capacidade específica dos 337 poços tubulares é igual a $1,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, com desvio padrão de $1,7 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ e coeficiente de variação de 111,7% (Tabela 5). O histograma deste elemento pode ser observado na Figura 43. O gráfico com os dados do elemento, os intervalos geométricos ao redor da média, e a identificação do primeiro, segundo e terceiro quartis é mostrado na Figura 44. A distribuição espacial do parâmetro analisado é apresentada na Figura 45.

Tabela 5: Estatística univariada dos valores de capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).

Análise da amostra	
Quantidade de dados	337
Valor mínimo	0,01
Valor máximo	304,6
Medidas de tendência central	
Média geométrica	1,5
Médiana	1,6
Moda	-
Medidas de dispersão	
Variância	2,8
Desvio padrão geométrico	1,7
CV	111,0%
Medidas de posicionamento	
Primeiro Quartil	0,6
Segundo Quartil	1,6
Terceiro Quartil	4,3
Outras medidas	
Coeficiente de inclinação	-0,17
Coeficiente de curtose	0,19

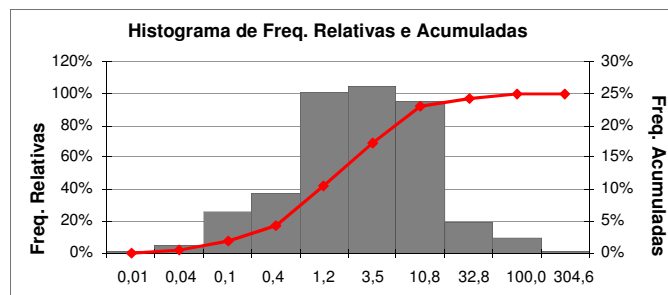


Figura 43: Histograma das amostras coletadas no SASG para o parâmetro capacidade específica.

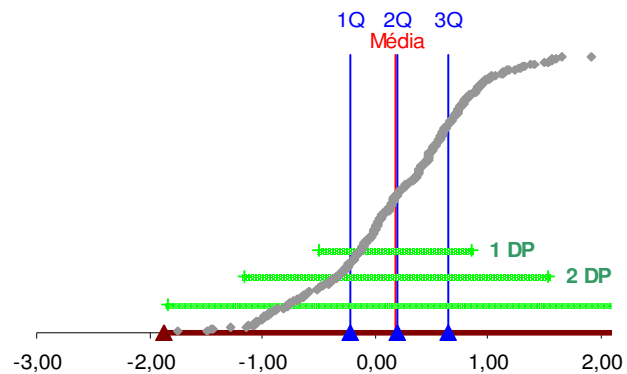


Figura 44: Gráfico com a análise numérica do parâmetro capacidade específica, em escala logarítmica.

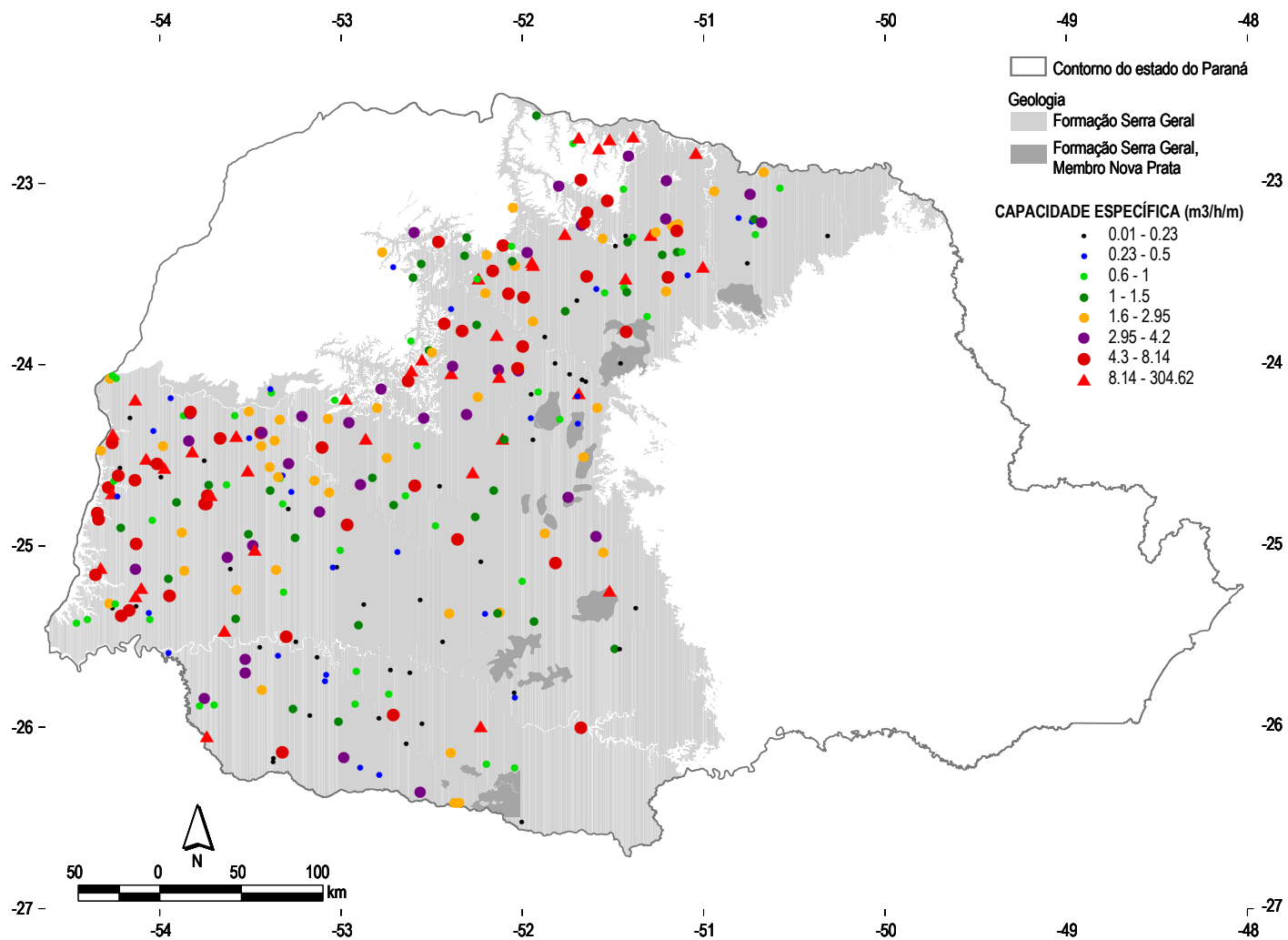


Figura 45: Mapa com a distribuição espacial do parâmetro capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).

4.1.2 Divisores subterrâneos e potenciometria

A análise das curvas potenciométricas traçadas para o SASG permite identificar coincidência geográfica, em escala regional, entre os divisores de água superficiais e subterrâneos. Desta forma assemelham-se os limites das Bacias Hidrográficas Superficiais (SUDERHSA, 1998) e das bacias hidrogeológicas que compõe o SASG no estado do Paraná. Tal fato confirma a caracterização regional do SASG como aquífero livre, uma vez que a topografia do nível estático do aquífero acompanha, em geral, o contorno da superfície do terreno.

Ocorrências de poços com jorrância natural intermitente (principalmente nas zonas de descarga do aquífero) estão relacionadas à saturação das áreas de recarga, devido a períodos contínuos de elevada precipitação e recarga do aquífero.

Considerando toda extensão do SASG no Estado do Paraná, o fluxo subterrâneo em escala regional dá-se de leste para oeste. O fluxo possui sentido às áreas de descarga situadas nas regiões oeste e noroeste paranaense, junto aos rios Paraná (principal área de descarga regional do SASG) e Paranapanema, respectivamente. A direção de escoamento subterrâneo preferencial é diretamente influenciada pela direção de mergulho regional da Fm. Serra Geral na Bacia Sedimentar do Paraná (direção E-W).

De forma geral, pode se observar duas ordens de grandeza no controle do fluxo subterrâneo: uma de caráter regional, controlada principalmente pelo gradiente da bacia, e outra com maior detalhe, caracterizando gradientes de fluxo localizados, condicionados pelas principais drenagens.

As linhas de fluxo inferidas a partir das isopotenciais permitem identificar as principais drenagens existentes, rios: Paraná, Paranapanema, Iguaçu, Piquiri, Pirapó, Tibagi e Ivaí como áreas regionais de descarga do aquífero.

Toda a área de afloramento do SASG pode ser considerada área de recarga do aquífero.

Nota-se que entre os rios Paranapanema e Ivaí (região do Arco de Ponta Grossa) existem altos potenciométricos, caracterizando um controle estrutural das áreas regionais de recarga nesta região. Observam-se três direções preferenciais de fluxo subterrâneo: sentido rio Paranapanema, sentido Aquífero Caiuá e em direção ao Rio Ivaí.

Junto à borda leste da Fm. Serra Geral no Paraná, localizam-se altos potenciométricos cujos sentidos de fluxo regionais são em direção aos rios Piquiri e Iguaçu.

Na região oeste do estado, na Bacia do Paraná 3, existe uma outra área que pode ser considerada divisor subterrâneo no SASG. A partir desta área (Limite entre as bacias hidrográficas superficiais: Piquiri BP3 e Iguaçu) predominam fluxos com sentido oeste.

Ressalta-se que no rio Paraná existe a represa da Hidroelétrica de Itaipu Binacional, cujo reservatório possui cota controlada de 204 ms.s.n.m, representando o nível de base regional do SASG.

A ocorrência de fluxos subterrâneos regionais e locais foi descrita por Arraes e Campos (2007) os quais elaboraram o modelo apresentado na Figura 46.

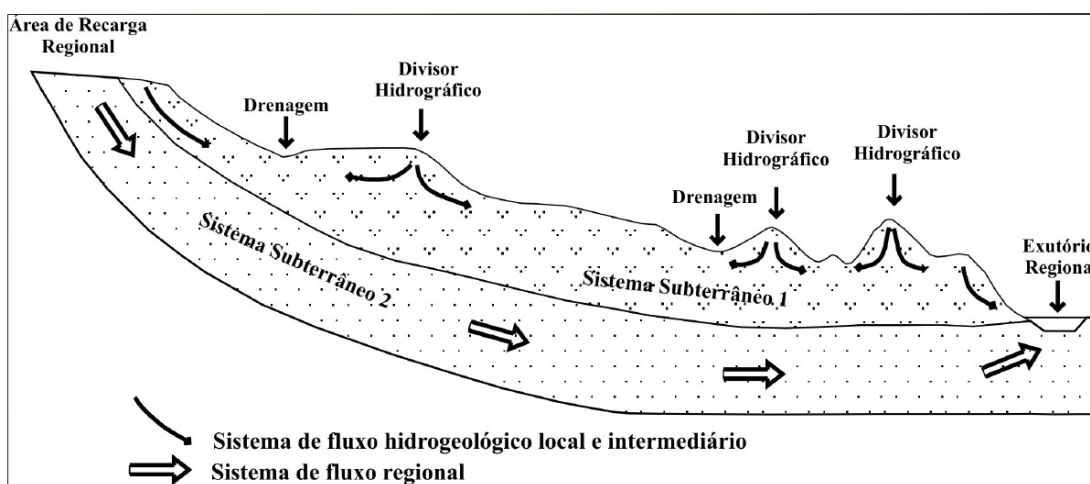


Figura 46: Modelo de fluxos subterrâneos regionais e locais proposto por Arraes e Campos

Fonte: Arraes e Campos (2007).

Em função da anisotropia estrutural característica deste aquífero, estudos de detalhe devem ser realizados para investigação hidrogeológica e determinação das direções de fluxo locais.

A Figura 47 apresenta o mapa potenciométrico do SASG no estado do Paraná, com indicação dos sentidos de fluxo (setas pretas). Ressalta-se que em função do SASG ser um aquífero fraturado as linhas potenciométricas apresentadas em mapa são “virtuais”, correspondendo a uma aproximação da superfície potenciométrica do SASG.

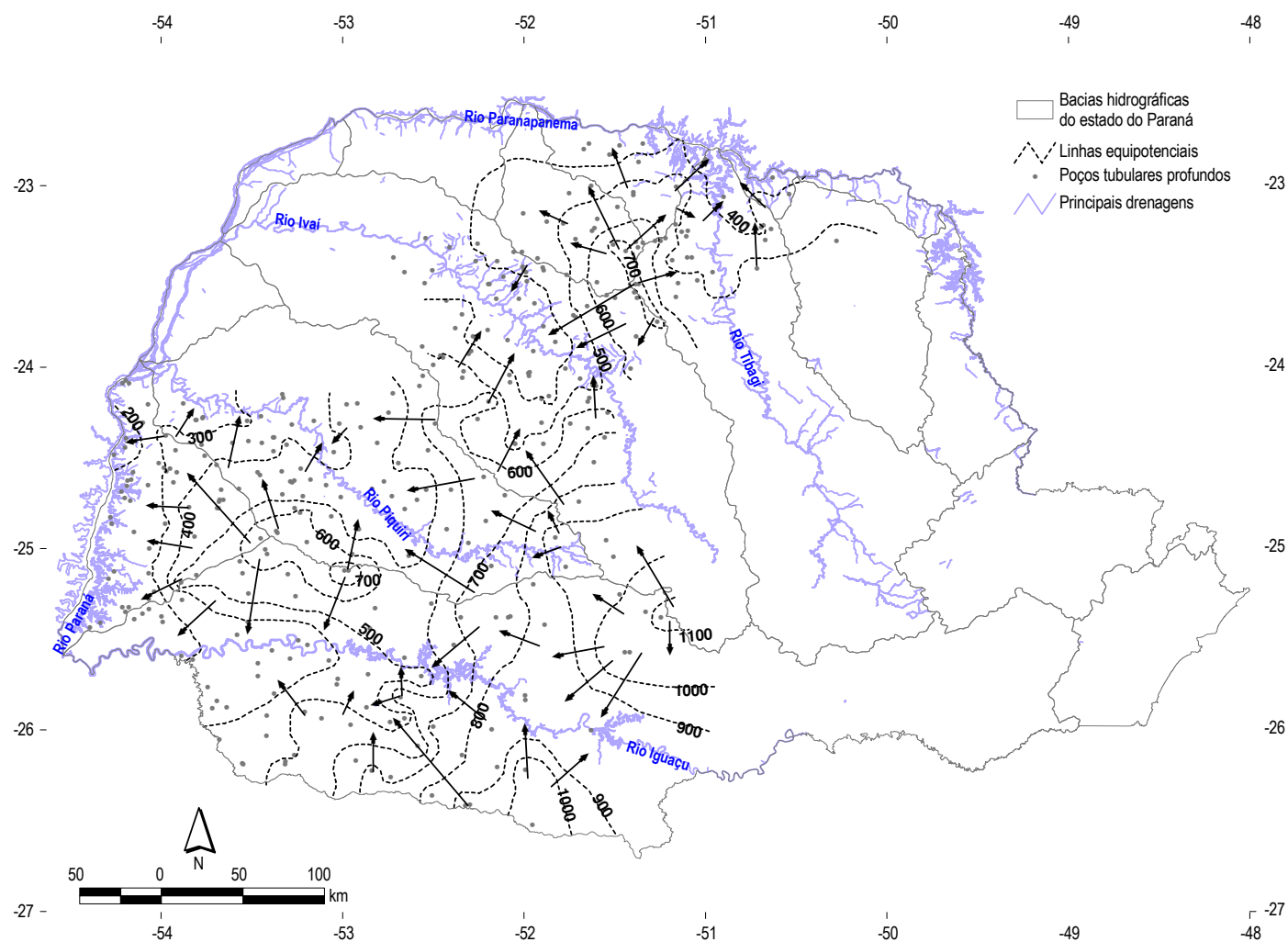


Figura 47: Mapa potenciométrico “virtual” do SASG no Estado do Paraná.

4.1.3 Espessura do SASG no Estado do Paraná

A deposição das rochas da Fm. Serra Geral acompanhou a calha deposicional regional da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando as maiores espessuras próximas ao depocentro da bacia.

As espessuras do SASG no Paraná aumentam desde a região da escarpa (limite entre o segundo e terceiro planalto paranaense) onde ocorrem espessuras decimétricas, até a região oeste / noroeste do estado, onde as espessuras atingem 1100 e 1347 metros (poços tubulares profundos em Itaipulândia e Cianorte, respectivamente).

As espessuras são menores no compartimento Hidroestrutural Maringá, principalmente em função do Arco de Ponta Grossa. Neste mesmo compartimento nota-se que as profundidades aumentam na direção norte-noroeste, sentido rio Paranapanema. Observa-se também que o lineamento Jacutinga, comporta-se como uma grande zona de falha, com rejeitos de até 500 metros, propiciando, em profundidade, contato lateral entre o SASG e SAG. Nesta hipótese, o bloco baixo corresponde ao “bloco noroeste”.

Nos compartimentos Campo Mourão, Foz do Iguaçu e Foz do Areia a quantidade de poços perfurados até o SAG é bem menor o que dificulta a interpretação da continuidade dos dados de profundidade.

A Figura 48 apresenta os poços utilizados com indicação da espessura da Fm. Serra Geral. Nota-se que em muitos casos as estruturas existentes no SASG compartimentam também o SAG, uma vez que ocorrem variações de centenas de metros em poços situados em blocos estruturais distintos.

Ressalta-se que não existem dados suficientes para caracterizar as espessuras em grande parte do estado do Paraná, principalmente na sua porção centro sul.

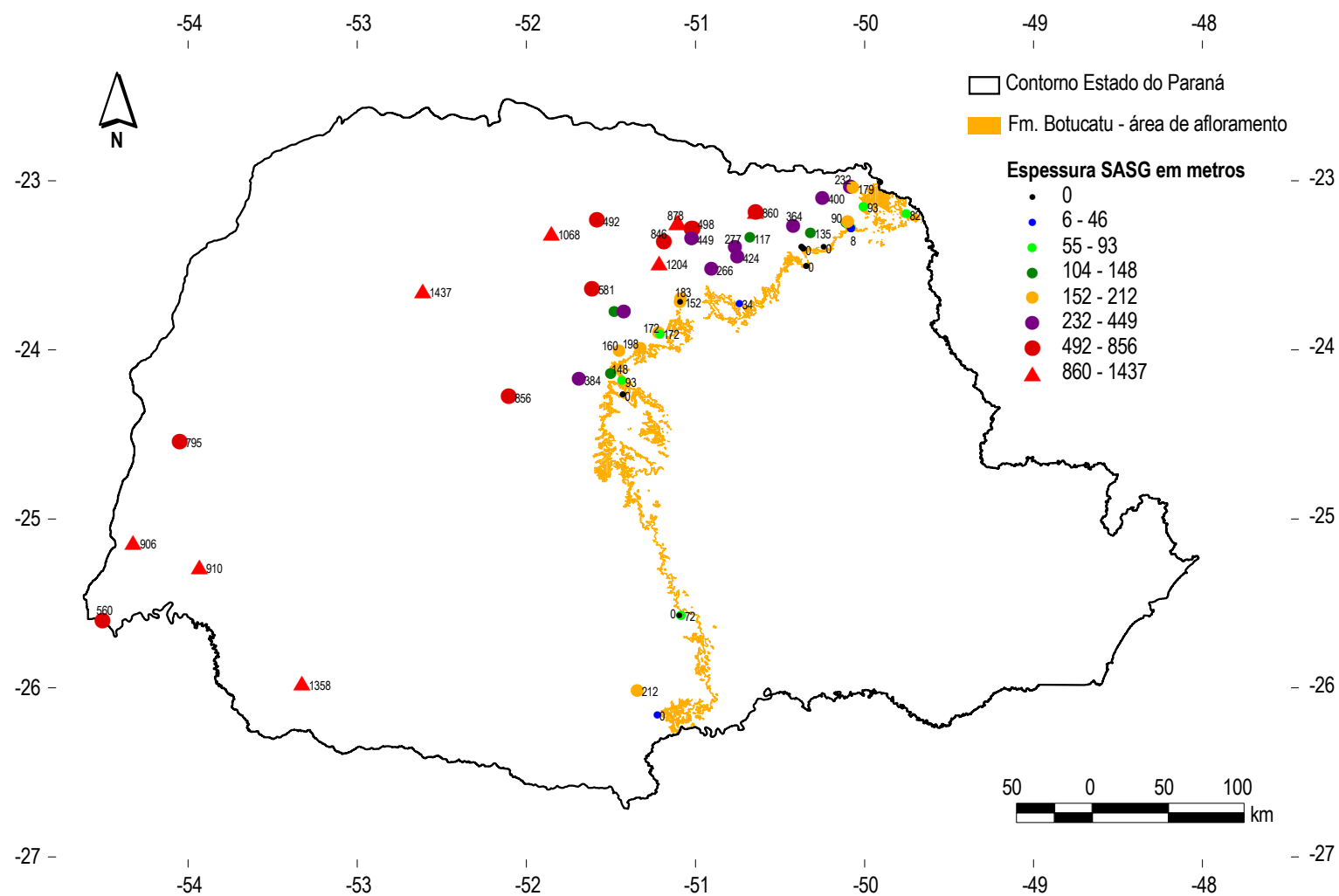


Figura 48: Poços perfurados até o SAG com indicação da espessura da Fm. Serra Geral no Estado do Paraná.

4.1.4 Arcabouço estrutural do SASG paranaense

A combinação de mapas temáticos como aeromagnetometria, lineamentos estruturais de superfície em duas escalas (1:2.500.000 e 1:600.000) e os lineamentos traçados por Soares (2007), possibilitou identificar estruturas geológicas regionais, que apresentam continuidade e registro no SASG paranaense.

Tais estruturas, neste caso, com enfoque nas estruturas rúpteis uma vez que se trata de aquífero fraturado, possibilitam o entendimento do arcabouço estrutural do aquífero e zonas preferenciais de circulação e armazenamento de água subterrânea.

Desta maneira são apresentados de forma sequencial os resultados dos traçados nas diferentes bases, culminando no traçado de estruturas regionais que caracterizem o arcabouço estrutural do SASG.

A Figura 49 destaca o mapa de lineamentos interpretados a partir dos dados aeromagnetométricos. Estruturas de grande continuidade com direção NE e NW são detectadas, refletindo a sobreposição dos eventos tectônicos deformacionais. Ressalta-se que foram interpretadas preferencialmente as estruturas existentes sobre a projeção da Fm. Serra Geral em superfície.

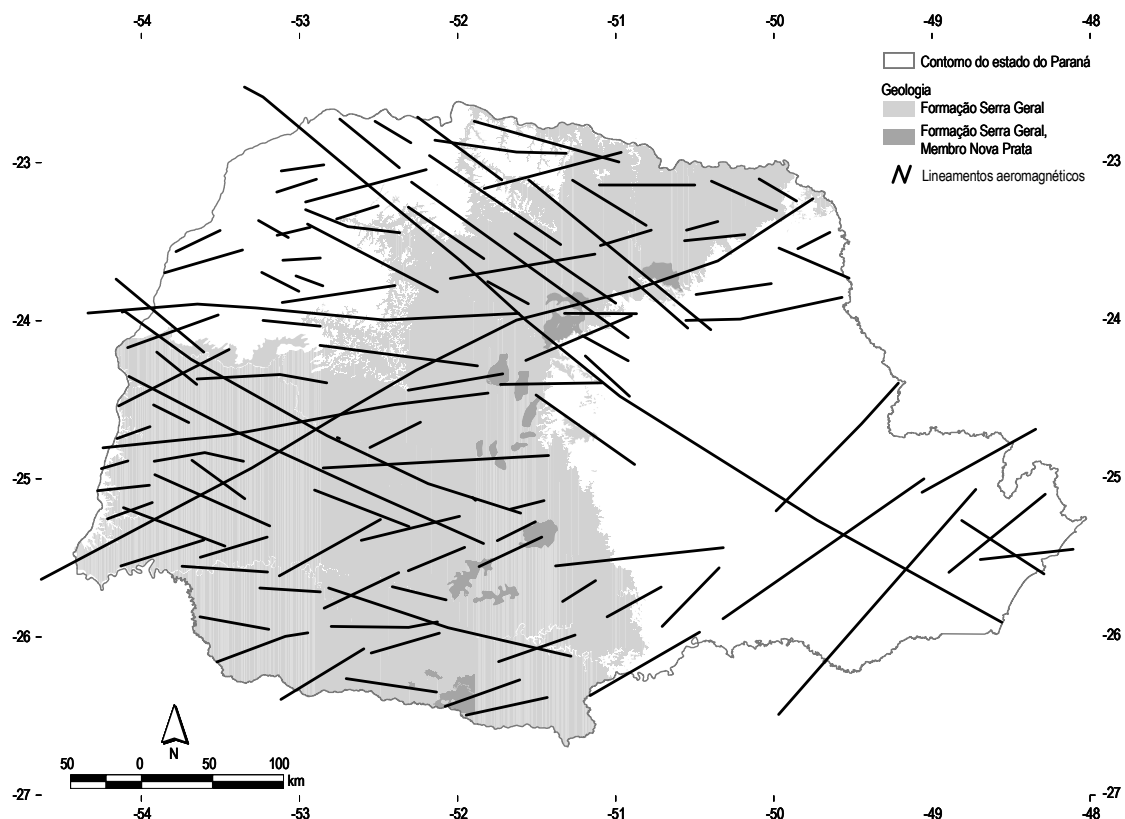


Figura 49: Lineamentos aeromagnéticos interpretados.

Soares (2007) analisou aspectos estruturais e estratigráficos do SAG, para toda Bacia Sedimentar do Paraná, em notável trabalho. Os lineamentos traçados que recobrem o território paranaense são apresentados na Figura 50. Tais estruturas apresentam continuidade desde a superfície (Fm. Serra Geral) até o topo do SAG.

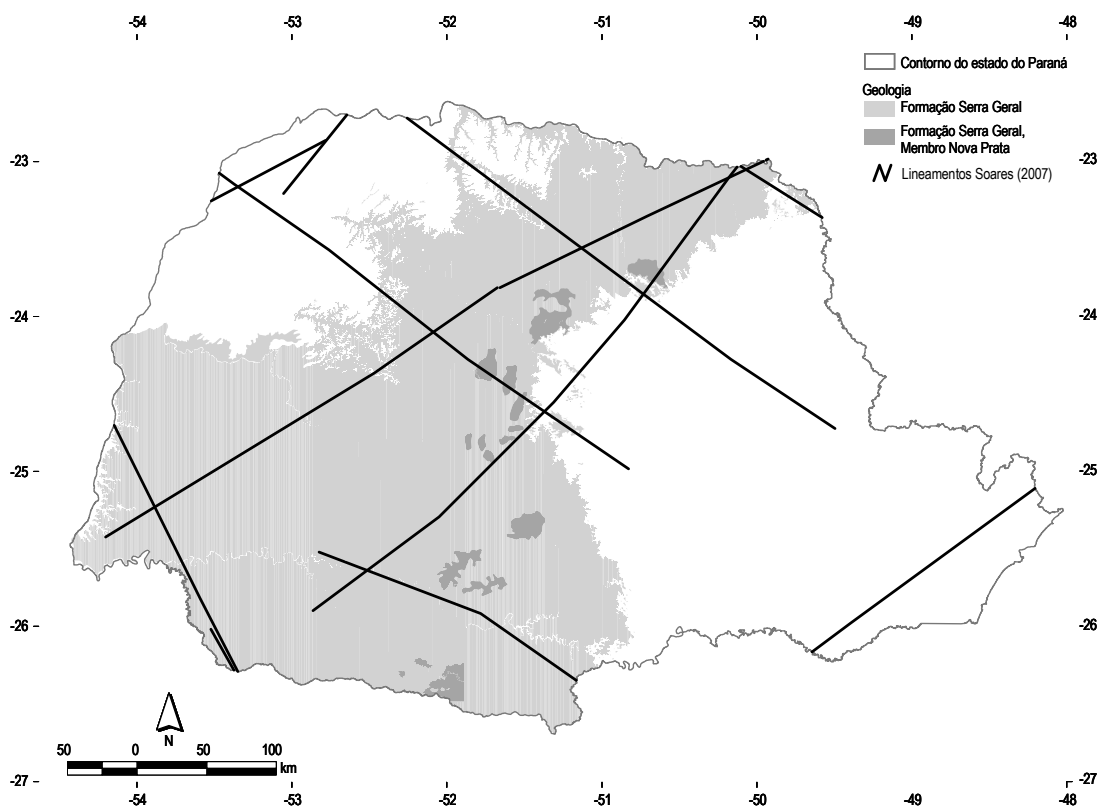


Figura 50: Lineamentos extraídos do contorno estrutural do topo da Fm. Botucatu, modificado de Soares (2007).

Foram traçados nesta pesquisa lineamentos para toda a área do SASG nas escalas 1:2.500.000 e 1:600.000.

Na escala de traçado 1:2.500.000 (Figura 51) foram traçados 198 lineamentos. Observa-se o “detalhamento” das estruturas regionais apresentadas nos mapas aeromagnético e de Soares (2007).

Nesta escala de análise os lineamentos NW possuem maior comprimento, e predominam próximo a região do Arco de Ponta Grossa.

Os lineamentos nordeste possuem menor tamanho e em grande parte, aparecem segmentados pelos lineamento NW, sugerindo serem mais antigos. Destaca-se o feixe de lineamentos de direção NE, que ocorre desde a Foz do Rio Iguaçu, até a região nordeste do estado. Inclusive, com direção paralela a borda erosiva NE da Bacia Sedimentar do Paraná, em um dos flancos do Arco de Ponta Grossa (Figura 51).

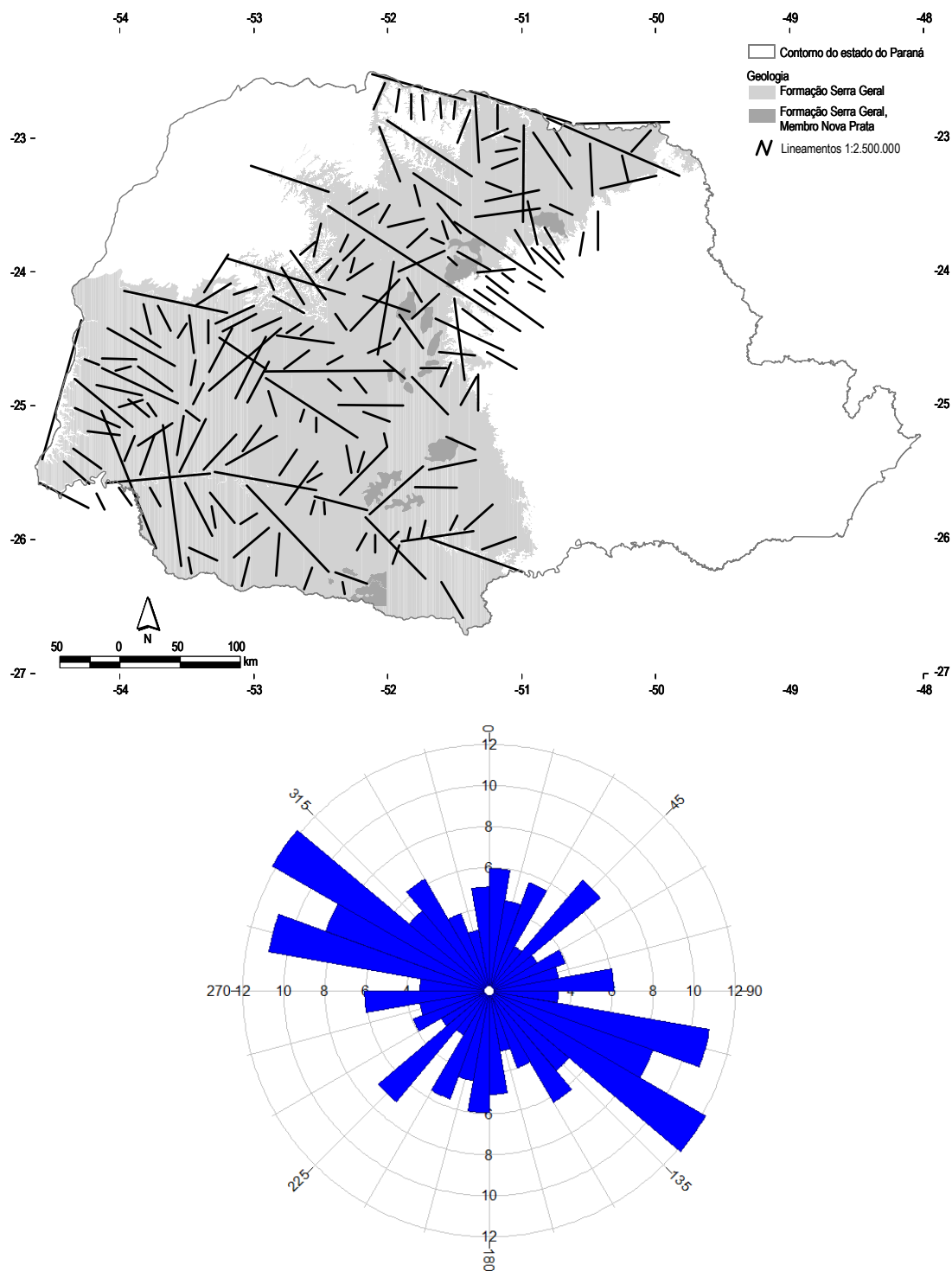


Figura 51: Lineamentos traçados escala 1: 2.500.000 e diagrama de rosetas correspondente (comprimento).

Para maior refinamento da análise, optou-se pela escala 1:600.000 de visualização e traçado. Nessa escala foram traçados 1554 lineamentos. A Figura 52 ilustra o mapa dos lineamentos traçados na escala 1:600.000, sobre a área de afloramento do SASG.

Neste mapa podem ser identificados, em mais detalhe, os lineamentos contínuos, apresentados anteriormente. Feixes de direção NW e NE refletem a sobreposição com estruturas traçadas em escala 1:2.500.000 e corroboram o significado geológico destas estruturas em análise multiescala.

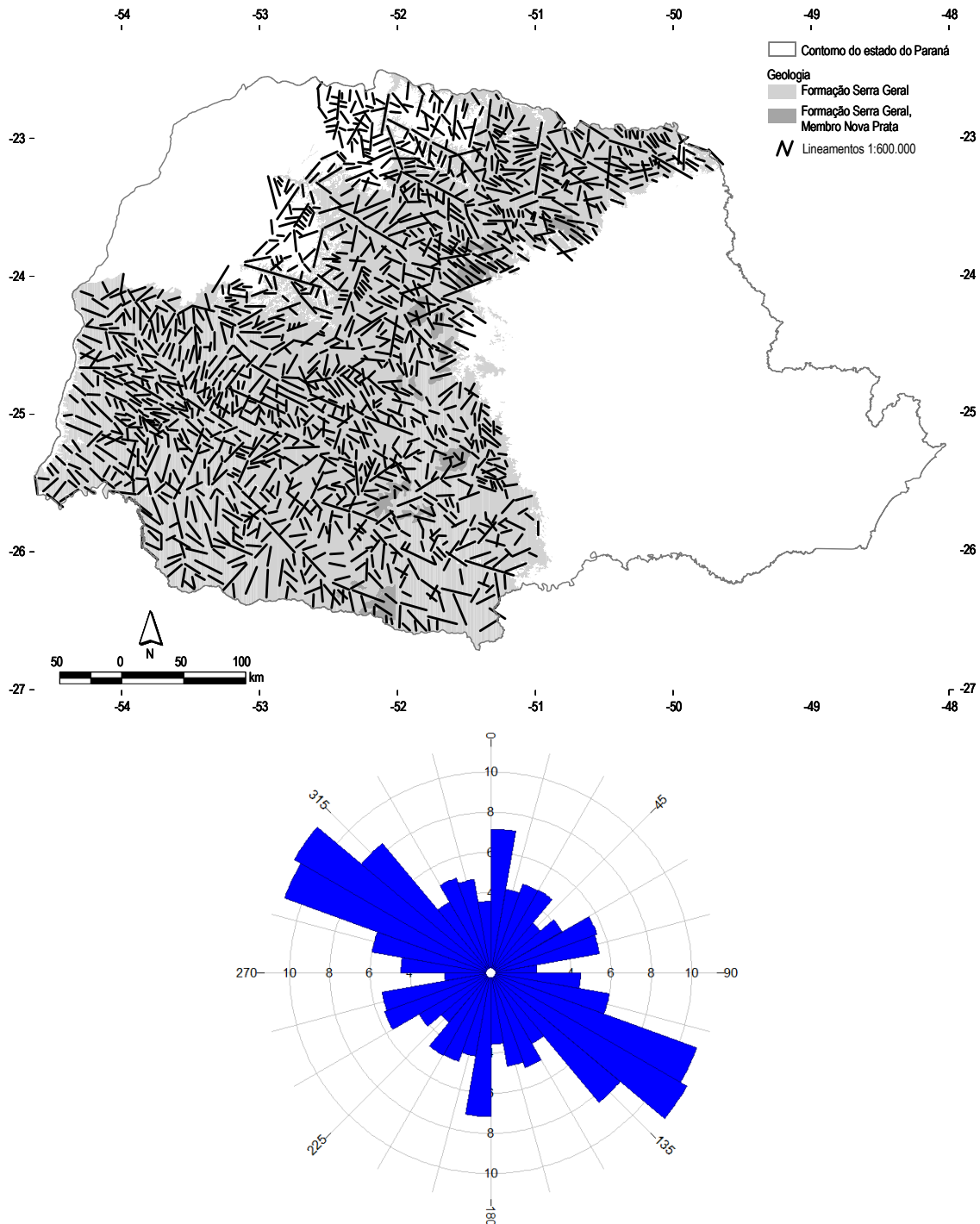


Figura 52: Lineamentos traçados escala 1:600.000 000 e diagrama de roseta correspondente (comprimento).

Para compor o arcabouço estrutural do SASG, as estruturas devem possuir o registro em todas as escalas e fontes analisadas. Assim, todos os lineamentos traçados (Figura 53) foram considerados antes de compor o arcabouço estrutural do SASG.

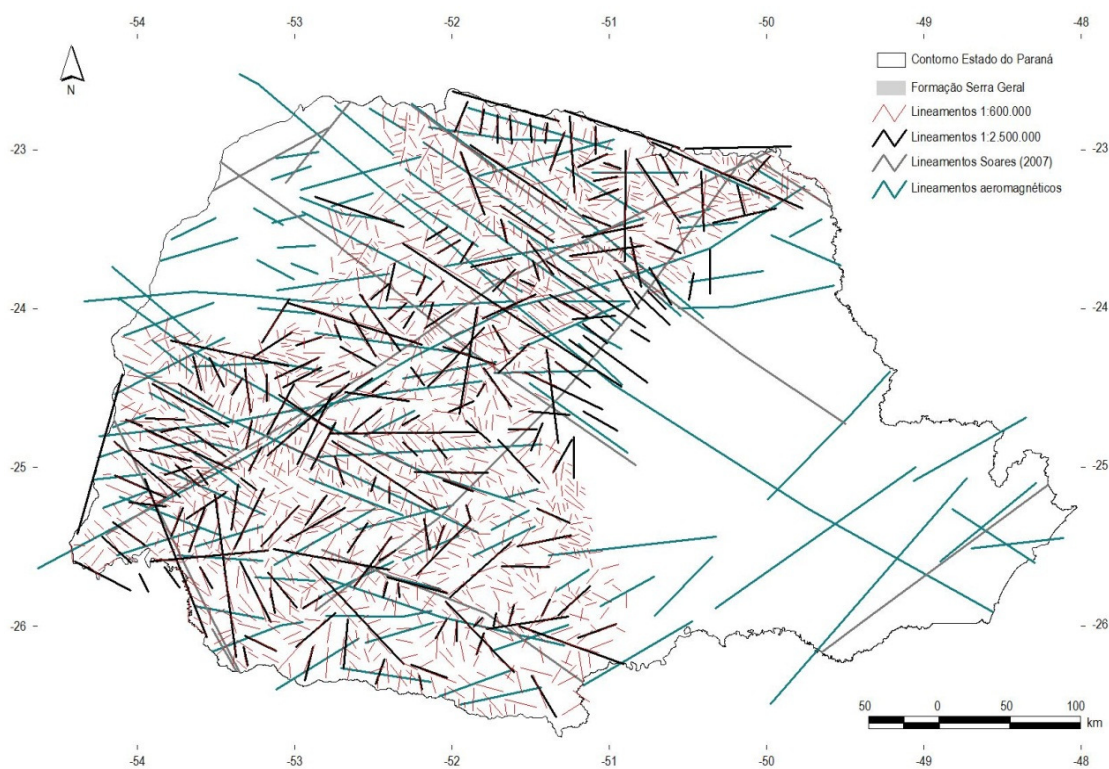


Figura 53: Integração dos lineamentos estudados na definição do arcabouço estrutural do SASG no Estado do Paraná.

O arcabouço estrutural do SASG é apresentado na Figura 54. Estão representadas as estruturas com maior continuidade e persistência.

Três direções regionais principais são observadas nos lineamentos do arcabouço estrutural: (a) direção EW coincidente com as falhas transformantes decorrentes da deriva continental, (b) lineamentos NE-SW coincidentes com a estruturação geral do embasamento arqueano e proterozóico; e (c) lineamentos de direção NW-SE, ao longo dos quais estão intrudidos os diques máficos do Arco de Ponta Grossa e outros.

A direção EW reflete a direção atual de esforço tectônico. Isso resulta na abertura das estruturas paralelas a esta direção azimutal. O rio Iguaçu, quando sobre as rochas da Fm. Serra Geral, está encaixado na maior estrutura EW traçada. Entre as latitudes 24° e 25° ocorre a maior concentração de lineamentos com direção EW.

A direção NE-SW está associada à direção do sistema Lancinha – Cubatão, bem como reflete a estruturação em *horsts* e *grabens* de direção NE-SW gerados mediante esforços transcorrentes atuantes desde a formação da Bacia Sedimentar do Paraná. Segundo Fassbinder *et al* (1994), os esforços de transcorrência da zona de cisalhamento principal N50-70E geraram esforços

distensivos N10-20E, que produziram fraturas abertas identificadas como Fraturas X ou fraturas de relaxamento.

Os lineamentos NE destacam-se por apresentar, de maneira geral, direção perpendicular as grandes drenagens e paralelismo às estruturas do embasamento da Bacia Sedimentar do Paraná. Dentre estes, destacam-se os lineamentos relacionados à direção Jacutinga – Guaxupé (Zalan *et al*, 1987).

A direção NE-SW provavelmente condiciona a estruturação do relevo na área de afloramento do SASG. Isso pode ser observado na borda erosiva a nordeste da Fm. Serra Geral e no contato com as rochas do Grupo Caiuá, ambos com direção nordeste.

Estudando o Domo de Quatiguá, Rostirolla *et al* (2000) identificaram dois eventos de reativação das estruturas NE, em especial a direção Jacutinga. O primeiro, transpressivo e com cinemática NE anti-horária, é interpretado como derivado da propagação intraplaca de tensões compressivas durante a Orogenia La Ventana, na passagem Permiano-Triássico. O segundo, de caráter transcorrente distensivo, sentido horário ao longo das falhas NE, ocorreu durante e/ou após o magmatismo Serra Geral.

As estruturas de direção N30°- 60°W estão associadas ao sistema do Arco de Ponta Grossa. Sua presença é notável ao longo da área de afloramento da Fm. Serra Geral, cabendo destaque para a região do eixo do arco (acima da latitude 24°), posicionado a norte do lineamento onde está encaixado o rio Ivaí.

Em geral as estruturas NW-SE interrompem as estruturas de direção NE-SW sugerindo serem mais recentes. Possuem também maior comprimento dentre as direções traçadas. Os lineamentos com direção NW são coincidentes com as principais drenagens do estado, caracterizando um controle tectônico no sistema de drenagem.

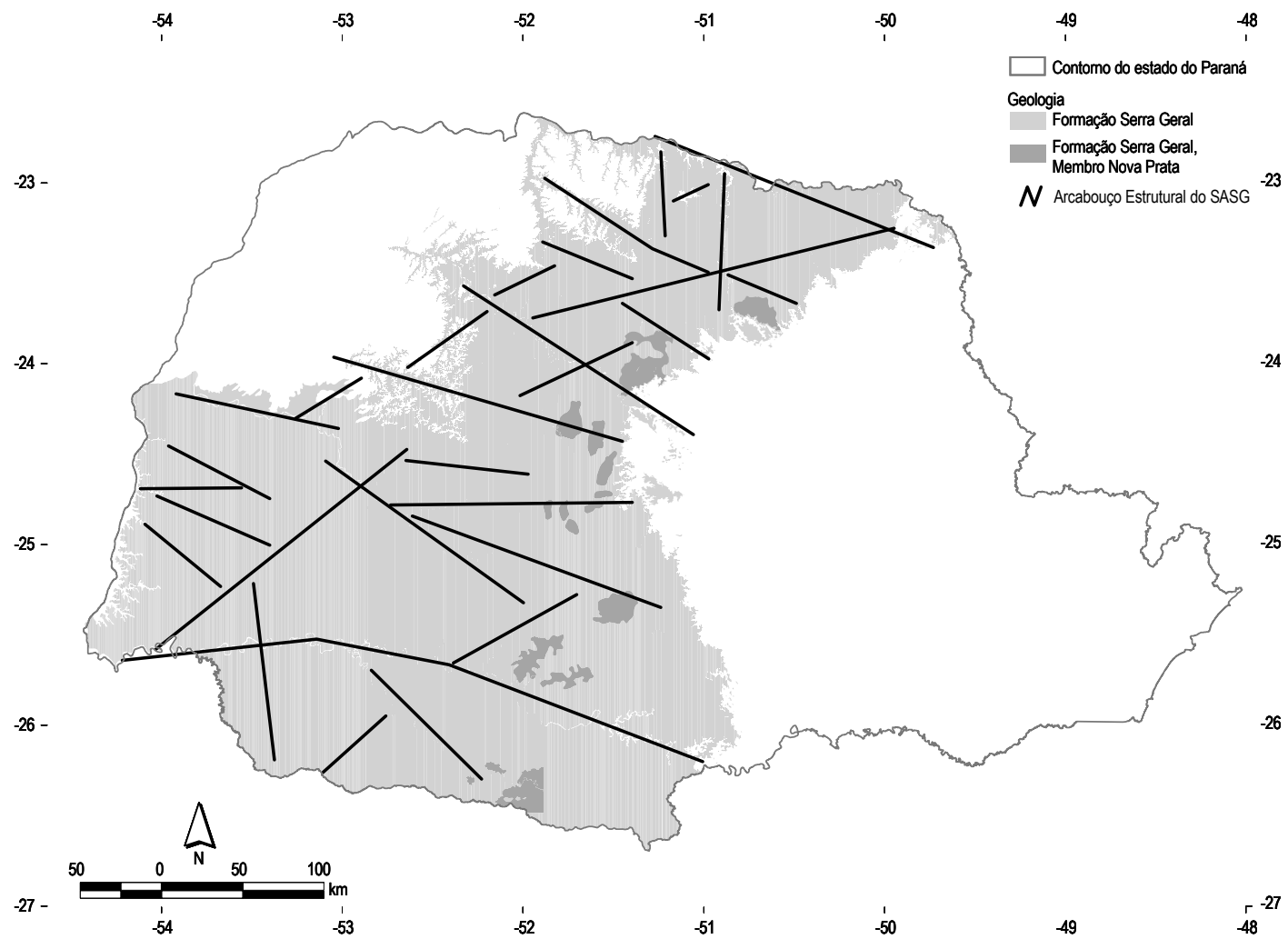


Figura 54: Arcabouço estrutural do SASG no Estado do Paraná.

4.2 Províncias e compartimentos Hidroestruturais

4.2.1 Províncias Hidroestruturais do SASG

A distribuição das vazões e capacidades específicas dos poços utilizados nesta pesquisa mostra que os valores anômalos medidos nos poços de bombeamento não se distribuem ao acaso, ocorrendo mediante controle estrutural em zonas (ou compartimentos estruturais) com maiores ou menores vazões.

A proposta de Fraga (1986) de subdivisão do Aquífero em Serra Geral Norte e Serra Geral Sul mediante o limite da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu não se aplica quando comparada aos dados aqui analisados. A subdivisão aqui proposta (Figura 55) separa o SASG em duas Províncias Hidroestruturais, a noroeste e sudeste da Falha de Jacutinga. Poços tubulares situados na Província Hidroestrutural Jacutinga Noroeste apresentam vazões e capacidades específicas superiores (valores maiores que o terceiro quartil) quando comparado aos poços situados na Província Hidroestrutural Jacutinga Sudeste (Tabela 6).

A Figura 56 apresenta as Províncias Hidroestruturais e os poços tubulares classificados segundo valores de capacidade específica.

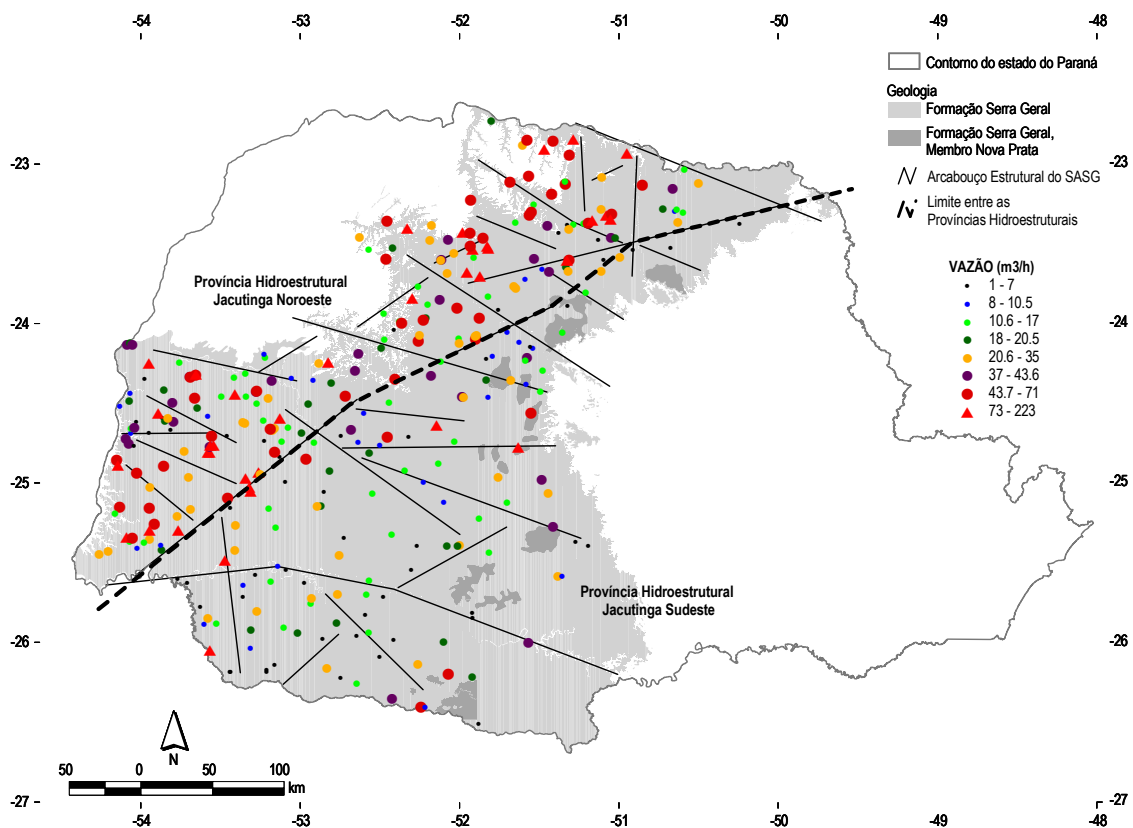


Figura 55: Subdivisão regional do SASG considerando o parâmetro vazão.

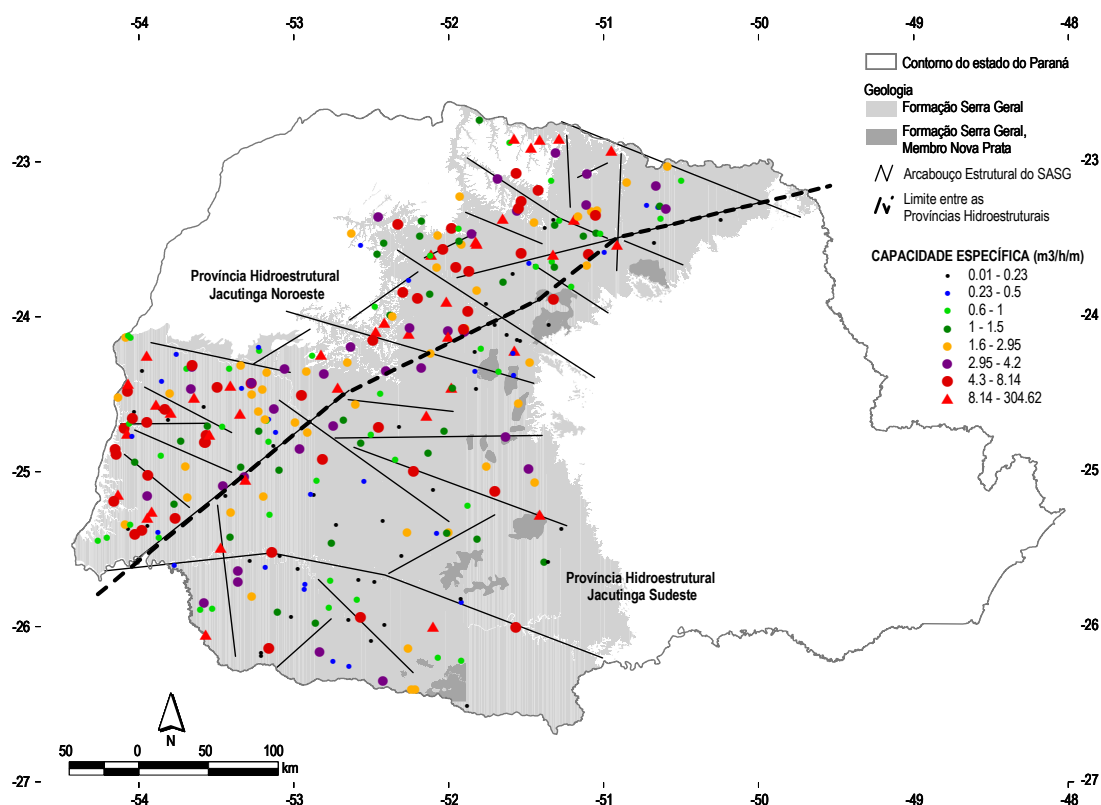


Figura 56: Subdivisão regional do SASG considerando o parâmetro capacidade específica.

Tabela 6: Comparação entre as Províncias Hidroestruturais Jacutinga Noroeste e Sudeste

Parâmetros	Província Hidroestrutural Jacutinga Noroeste		Província Hidroestrutural Jacutinga Sudeste	
	Vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	Cap Esp. ($\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$)	Vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	Cap Esp. ($\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-1}$)
Valor máximo	198	304	223	34,82
Valor mínimo	3	0,02	0,5	0,01
Médiana	31,5	2,5	13	0,9
Moda	17	0,21	7	0,09
Desvio Padrão	34,7	22,9	29,6	5
Número de poços	209		128	

4.2.2 Compartimentos Hidroestruturais do SASG no Estado do Paraná

A partir da divisão em duas Províncias Hidroestruturais, é proposto um detalhamento e refinamento destas mediante Compartimentos Hidroestruturais.

Considerando a relação entre o arcabouço estrutural e os poços tubulares profundos com vazões e capacidades específicas maiores que o 3º quartil (Figura 57 e Figura 58), foram delimitadas áreas com semelhanças em produtividade dos poços e cujos limites são os lineamentos do arcabouço estrutural.

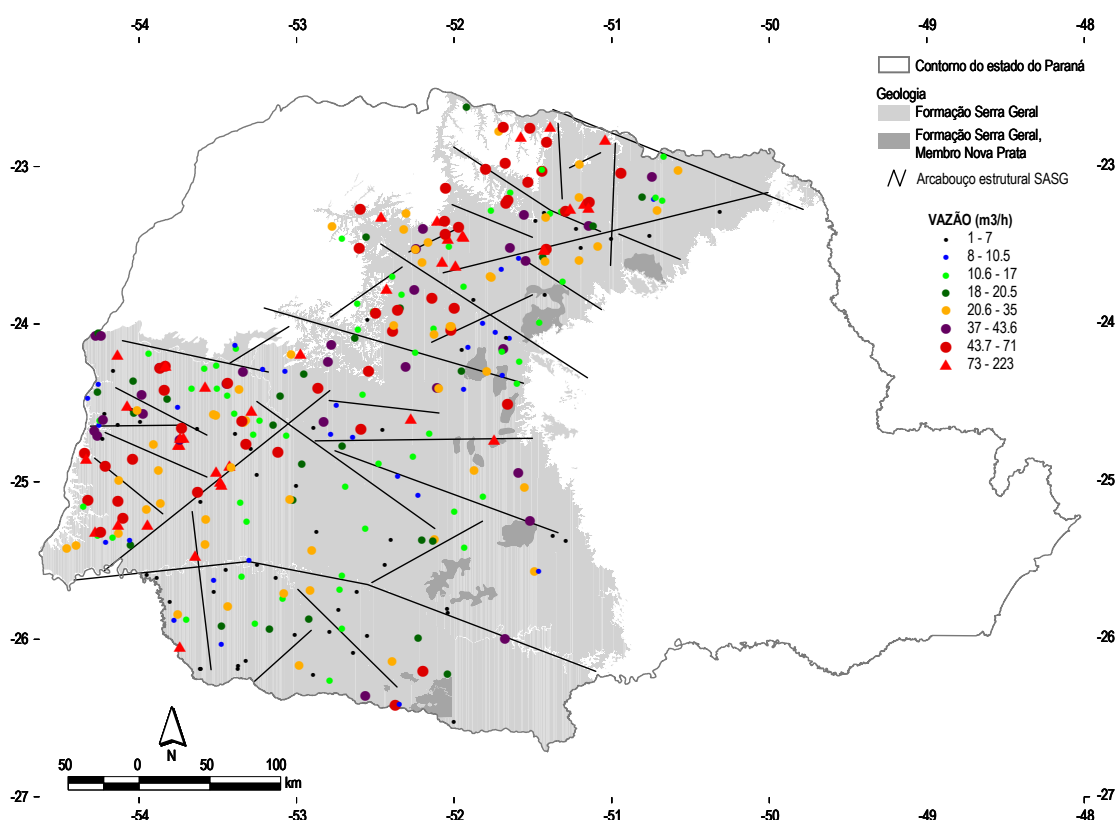


Figura 57: Comparação entre vazões acima do 3º quartil e o arcabouço estrutural.

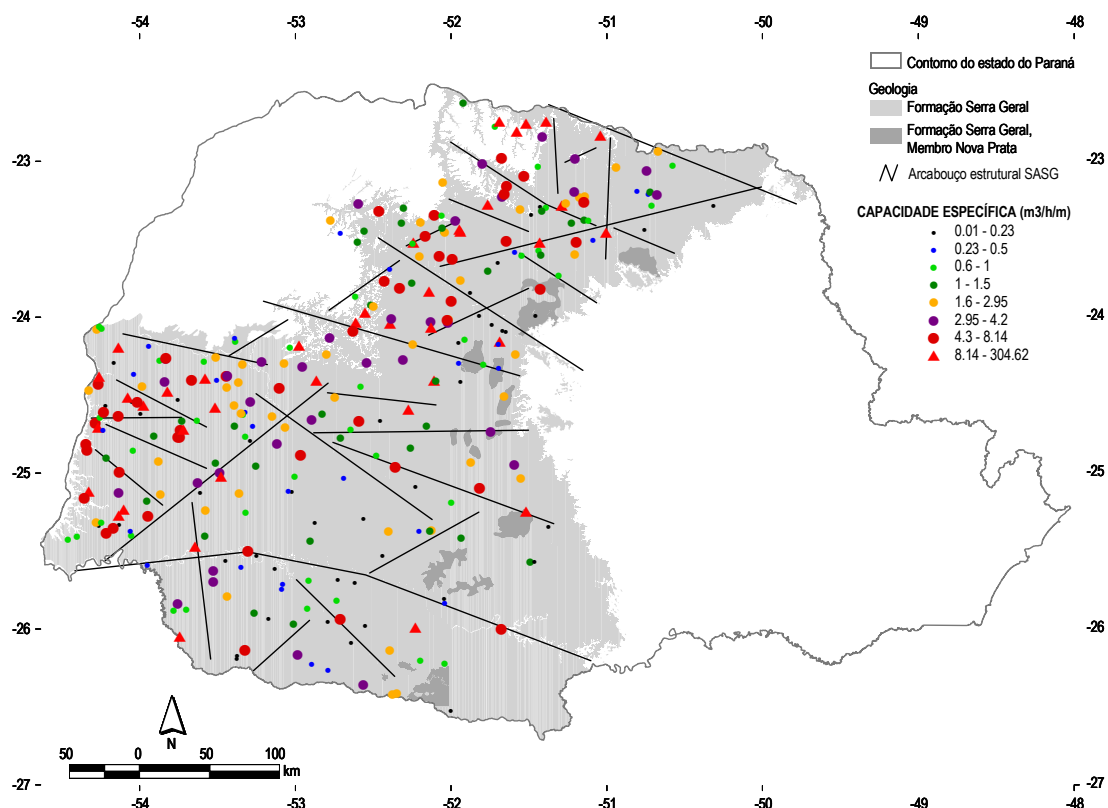


Figura 58: Comparação entre arcabouço estrutural e capacidade específica acima do 3º quartil.

Desta forma, foram divididos quatro compartimentos, denominados: Compartimento Hidroestrutural Maringá, Compartimento Hidroestrutural Campo Mourão, Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu e Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia. A Figura 59 apresenta os compartimentos em mapa.

A Tabela 7 apresenta a análise estatística da vazão dos poços tubulares profundos separados por Compartimentos Hidroestruturais. A Tabela 8 apresenta a mesma análise, considerando a capacidade específica dos poços tubulares profundos.

O Compartimento Maringá está localizado no Norte Pioneiro paranaense, limitado a sul pelo rio Ivaí e a norte pelo rio Paranapanema. Predominam lineamentos (405 traçados) com direção N50W a N60W, seguidos por N60W a N70W, observados na escala 1:600.000. Neste compartimento estão localizados os diques relacionados ao Arco de Ponta Grossa. Poços tubulares situados nesta província apresentam médiana de vazão de $31 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e médiana da capacidade específica $2,38 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. Trata-se do compartimento com melhor produtividade (capacidade específica) do SASG.

O Compartimento Campo Mourão está localizado no centro do estado do Paraná, limitado a norte pelo lineamento onde está “encaixado” o rio Ivaí, a sul por um grande lineamento leste – oeste e a sudoeste pelo rio Piquiri. Predominam lineamentos (278 traçados) com direção N50W a N60W, seguidos por N40W a N50W, quando observados na escala 1:600.000. Poços tubulares

situados nesta província apresentam médiana de vazão de $19 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e médiana da capacidade específica $2,08 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

O Compartimento Foz do Iguaçu está localizado no oeste paranaense, limitado a sudeste por um grande lineamento com direção NE (corresponde ao limite entre as Bacias Hidrográficas do Paraná 3 e do Iguaçu), a norte pelo rio Piquiri e a oeste pelo Reservatório de Itaipu Binacional (Rio Paraná). Predominam lineamentos (226 traçados) com direção N50W a N60W, seguidos por N40W a N50W, quando considerados os traçados na escala 1:600.000. Poços tubulares situados nesta província apresentam médiana de vazão de $33 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e médiana da capacidade específica $2,08 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

O Compartimento Foz do Areia é o que apresenta maior área dentre os compartimentos definidas neste trabalho. Está localizado no sudoeste paranaense, limitado a noroeste por um grande lineamento com direção NE (corresponde ao limite entre as Bacias Hidrográficas do Paraná 3 e do Iguaçu), a norte por um lineamento leste – oeste de dimensão regional, e a sul faz limite com o Estado de Santa Catarina. Predominam lineamentos (616 traçados) com direção N60W a N70W, seguidos por N50W a N60W, quando considerados os traçados na escala 1:600.000. Poços tubulares situados nesta província apresentam médiana de vazão de $14,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ e médiana da capacidade específica $0,90 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. Trata-se da província com pior índice de produção do SASG.

Tabela 7: Análise estatística da vazão (m^3h^{-1}) dos poços tubulares profundos separados por Compartimentos Hidroestruturais

Análise dos Compartimentos Hidroestruturais				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Quantidade de dados	83	67	91	92
Valor mínimo	2,0	2,0	3,0	1,0
Valor máximo	198,0	133,0	170,0	223,0
Medidas de tendência central				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Média geométrica	29,7	28,4	27,4	13,6
Médiana	31,0	19,0	33,0	14,5
Moda	7,0	8,0	10,0	6,0
Medidas de dispersão				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Variância	1,5	1,3	1,5	1,5
Desvio padrão geométrico	1,2	1,2	1,2	1,22
CV	4,1%	5,7%	4,4%	9,0%
Medidas de posicionamento				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Primeiro Quartil	16,5	10,5	14,0	6,7
Segundo Quartil	31,0	19,0	33,0	14,5
Terceiro Quartil	61,0	39,5	49,5	22,0

Tabela 8: Análise estatística da capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$) dos poços tubulares profundos separados por Compartimentos Hidroestruturais.

Análise dos compartimentos – capacidade específica dos poços tubulares				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Quantidade de dados	82	65	91	91
Valor mínimo	0,1	0,1	0,02	0,01
Valor máximo	44,35	23,66	314,62	34,82
Medidas de tendência central				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Média geométrica	2,06	1,76	1,94	0,82
Médiana	2,38	2,08	2,08	0,9
Moda	0,12	0,48	0,21	0,09
Medidas de dispersão				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Variância	2,26	2,17	3,40	2,93
Desvio geométrico padrão	1,50	1,47	1,84	1,71
CV (%)	73,07	83,69	94,80	208,22
Medidas de posicionamento				
	Maringá	Campo Mourão	Foz do Iguaçu	Foz do Areia
Primeiro Quartil	0,85	0,9	0,72	0,29
Segundo Quartil	2,38	2,08	2,08	0,9
Terceiro Quartil	5,17	4,83	5,56	2,93

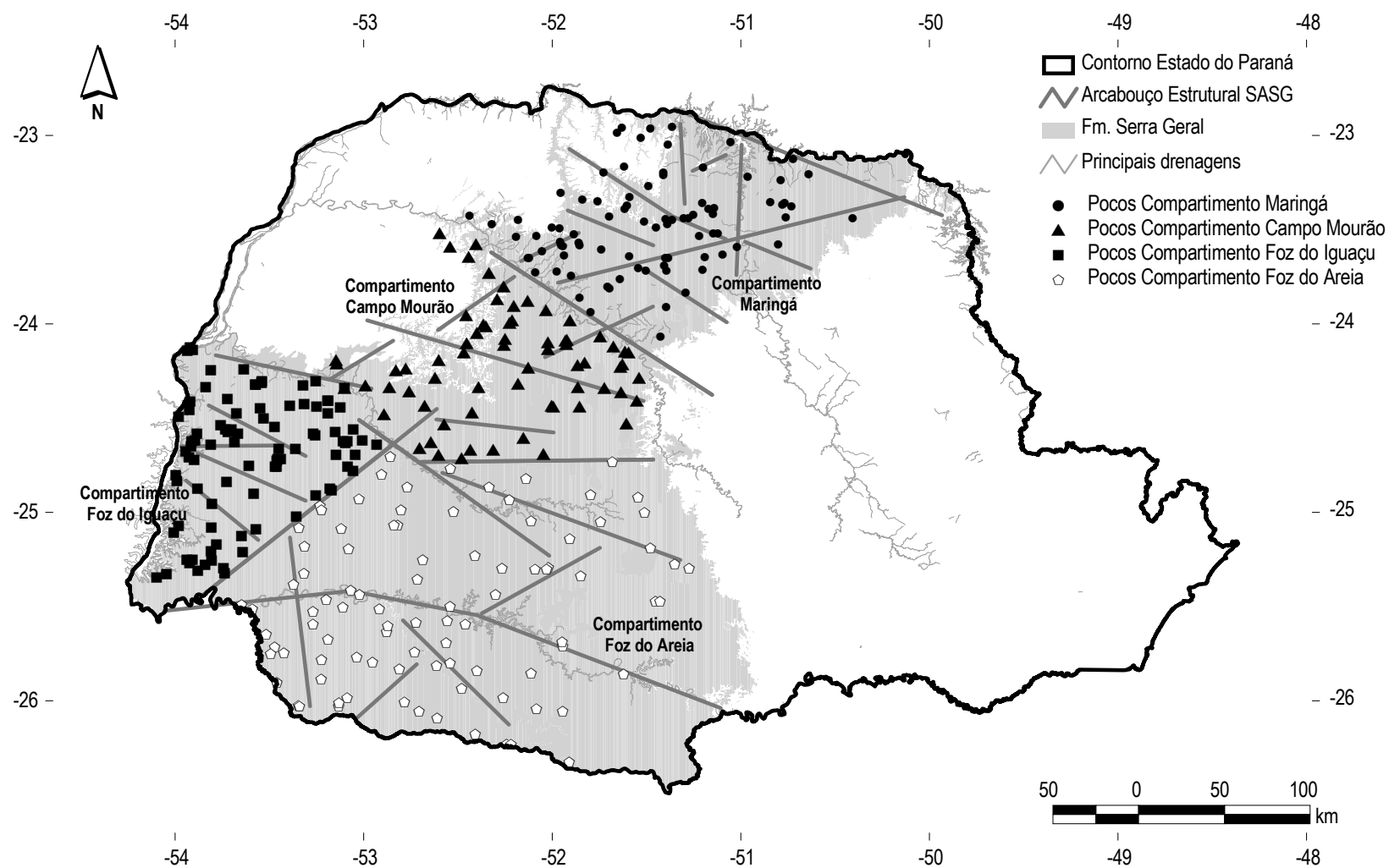
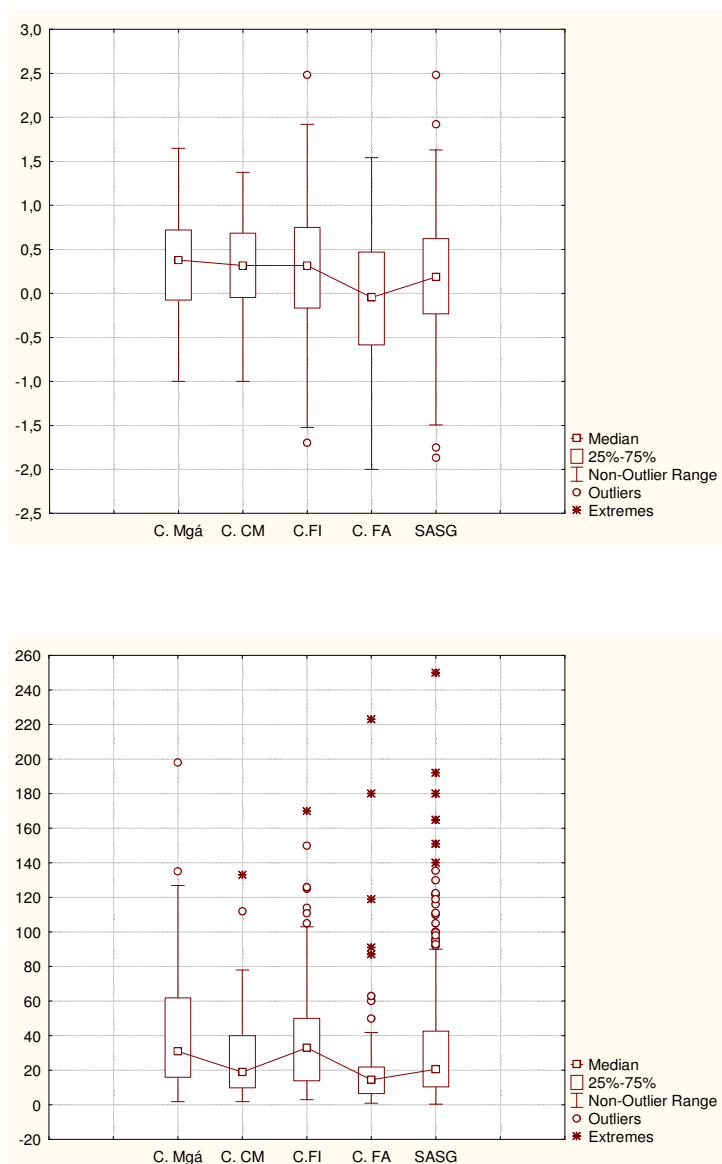


Figura 59: Compartimentos Hidroestruturais, com indicação dos poços por compartimento.

A Figura 60 apresenta as faixas de valores de capacidade específica (em logaritmo) e vazão dos poços provenientes dos diferentes compartimentos hidrogeológicos propostos nesta pesquisa.



C. Mgá – Compartimento Hidroestrutural Maringá.

C. CM - Compartimento Hidroestrutural Campo Mourão.

C. FI - Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu.

C. FA - Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia.

Figura 60: Faixas de valores de capacidade específica (em logaritmo) e vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) dos poços provenientes dos diferentes compartimentos hidrogeológicos.

4.3 Condicionantes exploratórios do SASG no Estado do Paraná

A investigação detalhada dos condicionantes geológicos que regem a circulação de água em aquíferos fraturados permite a elaboração de modelos conceituais os quais são imprescindíveis para um desenho adequado de testes hidráulicos e amostragens, cujos resultados, por sua vez, refinam os modelos conceituais. Este procedimento leva à previsão dos caminhos preferenciais de fluxo e assim à economia tanto de tempo como de recursos financeiros, (Fernandes, 2008).

4.3.1 Proximidade do arcabouço geológico estrutural

Duas escalas de análise foram consideradas para seleção dos poços em função da distância do lineamento: na escala 1:2.500.000 foram utilizadas duas distâncias, um e cinco quilômetros. Nesta escala de análise, poços situados até um quilômetro do lineamento apresentam capacidade específica e vazão superiores quando comparados aos outros poços.

Na escala 1:600.000 foram consideradas três distâncias de análise: cem, quinhentos e mil metros. Os resultados assemelham-se a escala 1:2.500.000 onde quão mais próximo ao lineamento, maiores são os valores da mediana da capacidade específica e da vazão dos poços tubulares.

Comparando os resultados nas duas escalas, observa-se que a proximidade dos lineamentos (estruturas geológicas rúpteis subverticais) aumenta a ocorrência de poços com índices de produção mais elevados. A Tabela 9 apresenta os valores da mediana da capacidade específica e da vazão separados por escala de análise e distância dos lineamentos.

A Figura 61 e a Figura 62 apresentam os poços separados por proximidade dos lineamentos em duas diferentes escalas: 1:600.000 e 1:2.500.000 utilizados nesta pesquisa.

Tabela 9: valores da mediana da capacidade específica e vazão, separados por escala de análise e distância dos lineamentos.

Proximidade do lineamento	Médiana da capacidade específica	Médiana da vazão	Número de poços.
Escala de análise 1:2.500.000 – Arcabouço Estrutural do SASG no Estado do Paraná			
Poços até 5 km	1,51 m ³ h ⁻¹ m ⁻¹	18,0 m ³ h ⁻¹	87
Poços até 1 km	2,72 m ³ h ⁻¹ m ⁻¹	30,5 m ³ h ⁻¹	18
Escala de análise 1:600.000 – Lineamentos traçados no SASG.			
Poços até 1 km	2,39 m ³ h ⁻¹ m ⁻¹	24 m ³ h ⁻¹	138
Poços até 500 m	2,43 m ³ h ⁻¹ m ⁻¹	22 m ³ h ⁻¹	89
Poços até 100 m	2,43 m ³ h ⁻¹ m ⁻¹	22 m ³ h ⁻¹	17

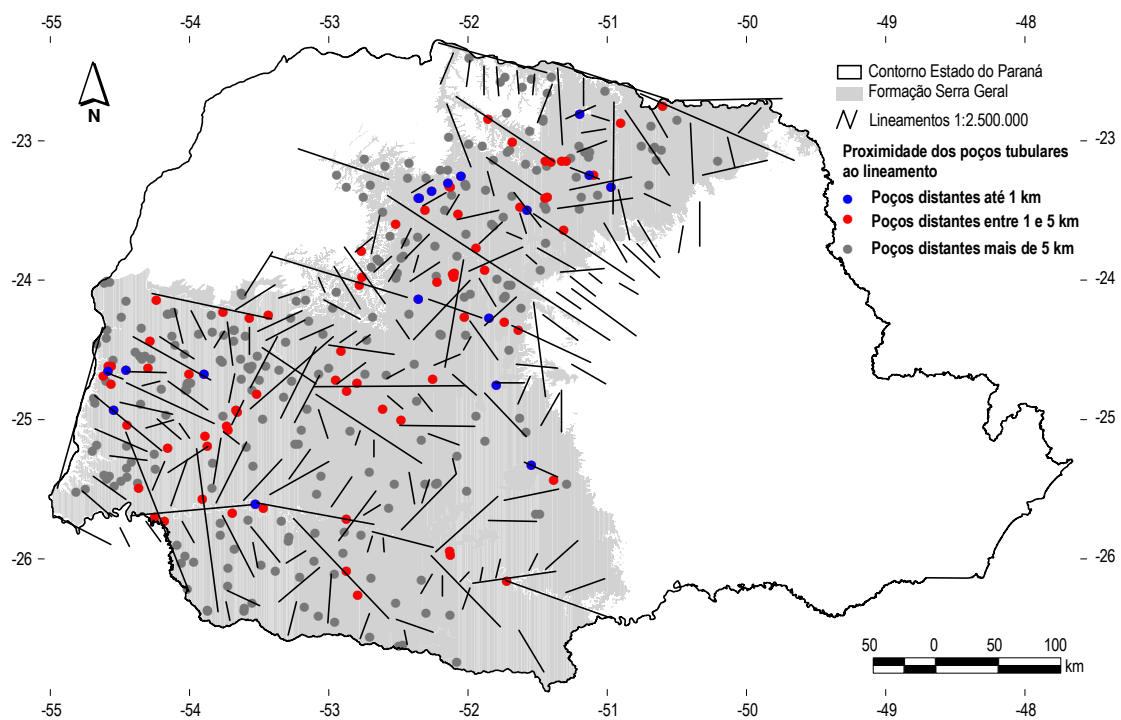


Figura 61: Proximidade dos poços ao arcabouço estrutural, escala 1:2.500.000.

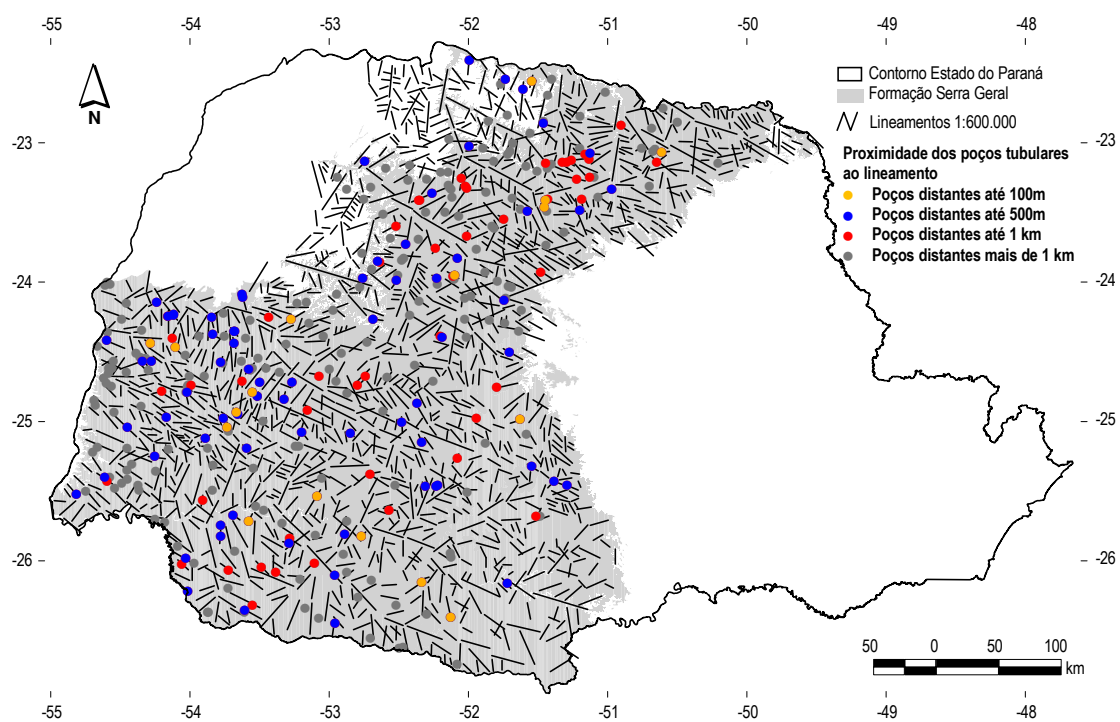


Figura 62: Proximidade dos poços aos lineamentos traçados, escala 1:600.000.

4.3.2 Espessura de solo e produtividade dos poços tubulares profundos

Duzentos e vinte e seis poços tubulares utilizados nesta pesquisa apresentam dados de espessura de solo para correlação com os índices de produção dos poços tubulares. A médiana dos valores de espessura de solo é cinco metros, a variância é 40,3 e o desvio padrão de 6,3 metros.

As camadas de material inconsolidado (solo) possuem importante papel na recarga de aquíferos fraturados. Destaca-se que predominam espessuras de solo maiores na Província Hidroestrutural Jacutinga Noroeste, a qual apresenta índices de produção (capacidade específica e vazão) mais elevados que a Província Hidroestrutural Jacutinga Sudeste.

A Figura 63 apresenta um mapa com a distribuição dos valores de espessura de solo para todo SASG. Valores acima de 10 metros de espessura estão acima do terceiro quartil, e representados em tons de vermelho no mapa apresentado.

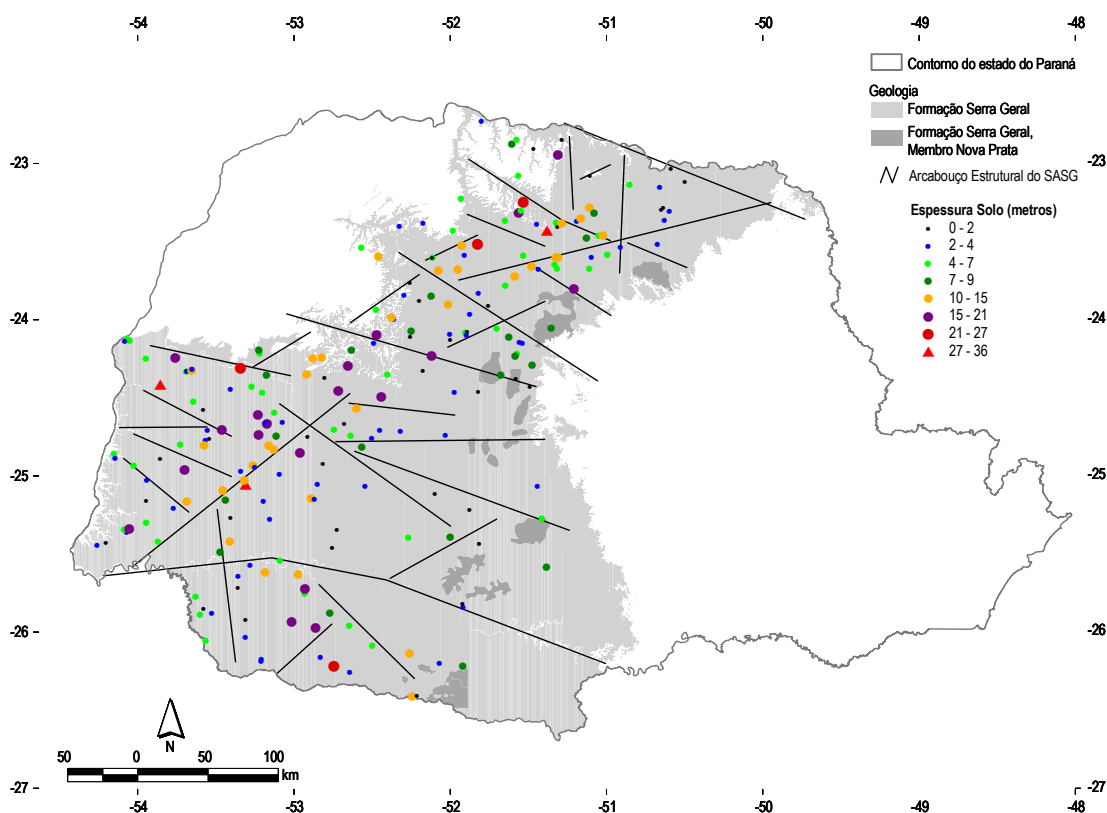


Figura 63: espessura de solo nos poços perfurados – SASG.

Conforme pode ser observado nos gráficos apresentados na Figura 64, a premissa de que a espessura de solo contribui na produtividade do aquífero não se aplica quando analisados os gráficos de correlação, não se

caracterizando estatisticamente, como um condicionante exploratório favorável ao SASG no Paraná.

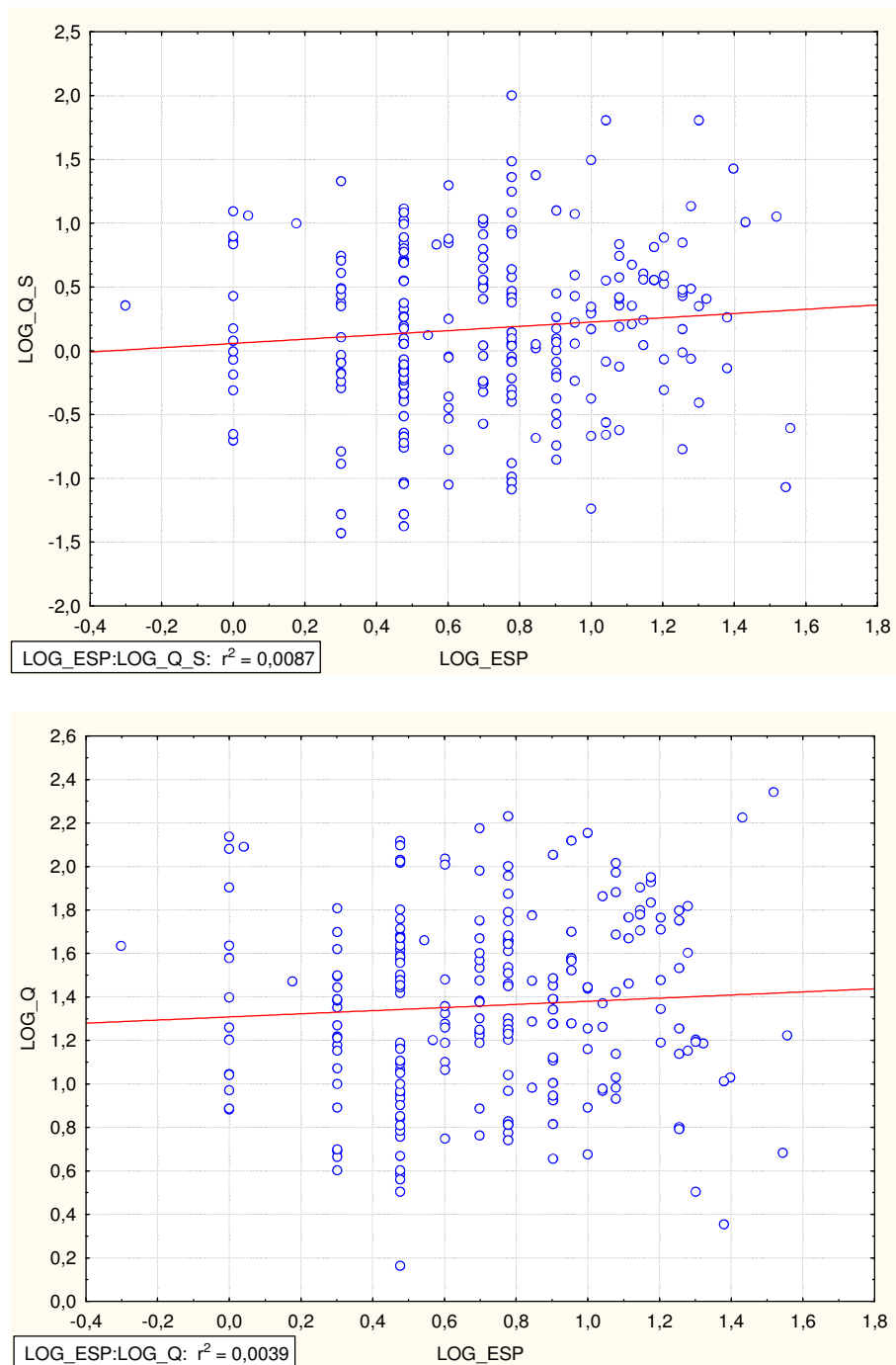


Figura 64: Gráficos de correlação entre espessura de solo e parâmetros de produtividade dos poços tubulares (capacidade específica gráfico superior, vazão gráfico inferior).

4.3.3 Análise azimutal e tectônica

Como visto, a proximidade do poço ao lineamento favorece índices de produção elevados do SASG. Neste capítulo é apresentada a análise entre a direção do lineamento onde o poço está locado, ou da estrutura mais próxima ao poço, e a produtividade do SASG.

O mapa dos lineamentos traçados e poços tubulares profundos analisados, na escala 1:600.000, é apresentado na Figura 65. Neste mapa também é destacada a BP3, onde foi feito um detalhamento na escala de análise.

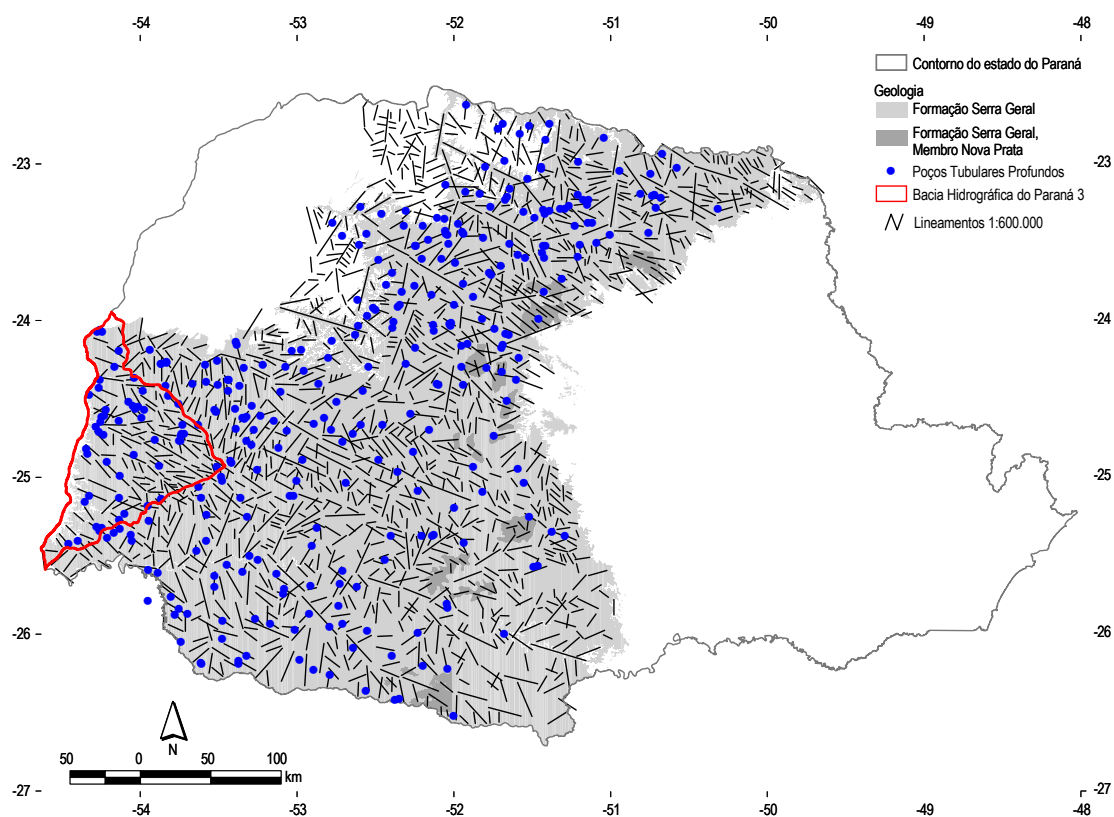


Figura 65: Lineamentos traçados na escala 1:600.000 e poços tubulares profundos.

A Figura 66 apresenta gráficos com os valores de capacidade específica e vazão, separados segundo intervalos de 10° de azimute.

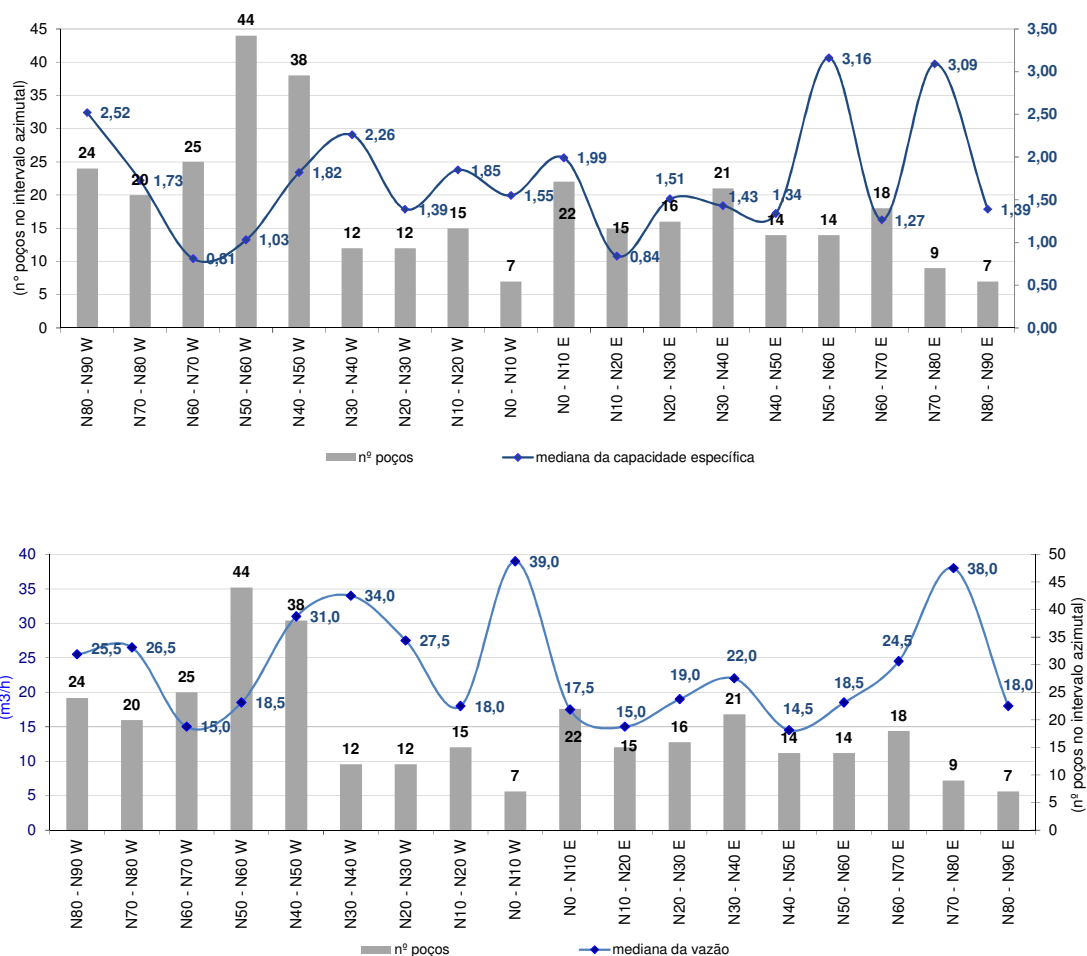


Figura 66: Gráficos com os valores de capacidade específica e vazão, separados segundo intervalos de 10º de azimuth.

A análise dos gráficos apresentados na Figura 66 permite identificar que poços tubulares profundos locados sobre estruturas (lineamentos na escala 1:600.000) com azimuth entre N50º - 60ºE possuem médiana de capacidade específica de 3,16 m³h⁻¹m⁻¹. O segundo intervalo de maior médiana da capacidade específica é N70º - 80ºE, com 3,09 m³h⁻¹m⁻¹. No quadrante noroeste, destacam-se os intervalos N80º - 90ºW e N30º - 40ºW, com médiana dos valores de capacidade específica 2,52 m³h⁻¹m⁻¹ e 2,26 m³h⁻¹m⁻¹, respectivamente.

Lineamentos com direção N60º - 70ºW e N10º - 20ºE representam a direção dos mais baixos valores de capacidade específica: 0,81 m³h⁻¹m⁻¹ e 0,84 m³h⁻¹m⁻¹, respectivamente, dentre os poços tubulares analisados.

Poços situados em lineamentos com azimuth entre 0º e N10ºW possuem a melhor médiana de vazão (39 m³h⁻¹). O intervalo N60ºE a N80ºE destaca-se por vazões médias entre 24,5 e 38 m³ h⁻¹. No quadrante noroeste, destaca-se positivamente o intervalo N20ºW a N50W com médias entre 27,5 e 34 m³ h⁻¹.

Poços situados em lineamentos com direção N40E a N60E possuem a mais baixa médiana de vazão (valores entre 14,5 e 18,5 m³h⁻¹). No quadrante NW, poços menos produtivos encontram-se sobre lineamentos de direção N50W a N70W (vazões entre 15 e 18,5 m³h⁻¹).

Ressalta-se que em alguns casos, são poucos os poços por intervalo direcional. Um exemplo é o intervalo 0° a N10°W que apresenta a melhor médiana de vazão, entretanto com apenas sete poços tubulares dentro deste intervalo azimutal.

Observa-se que as direções mais produtivas em cada parâmetro (capacidade específica e vazão) não são semelhantes. Entretanto, as tendências (intervalos mais ou menos produtivos) possuem coincidência satisfatória.

Para fins de comparação, modificou-se a área de análise, apenas com poços tubulares situados na área da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 (BP3) e manteve-se a escala de traçado dos lineamentos em 1:600.000. Assemelham-se os intervalos azimutais de maior vazão com os obtidos na análise regional (toda área do SASG). Os resultados desta comparação (azimute vs. vazão) são apresentados na Figura 67.

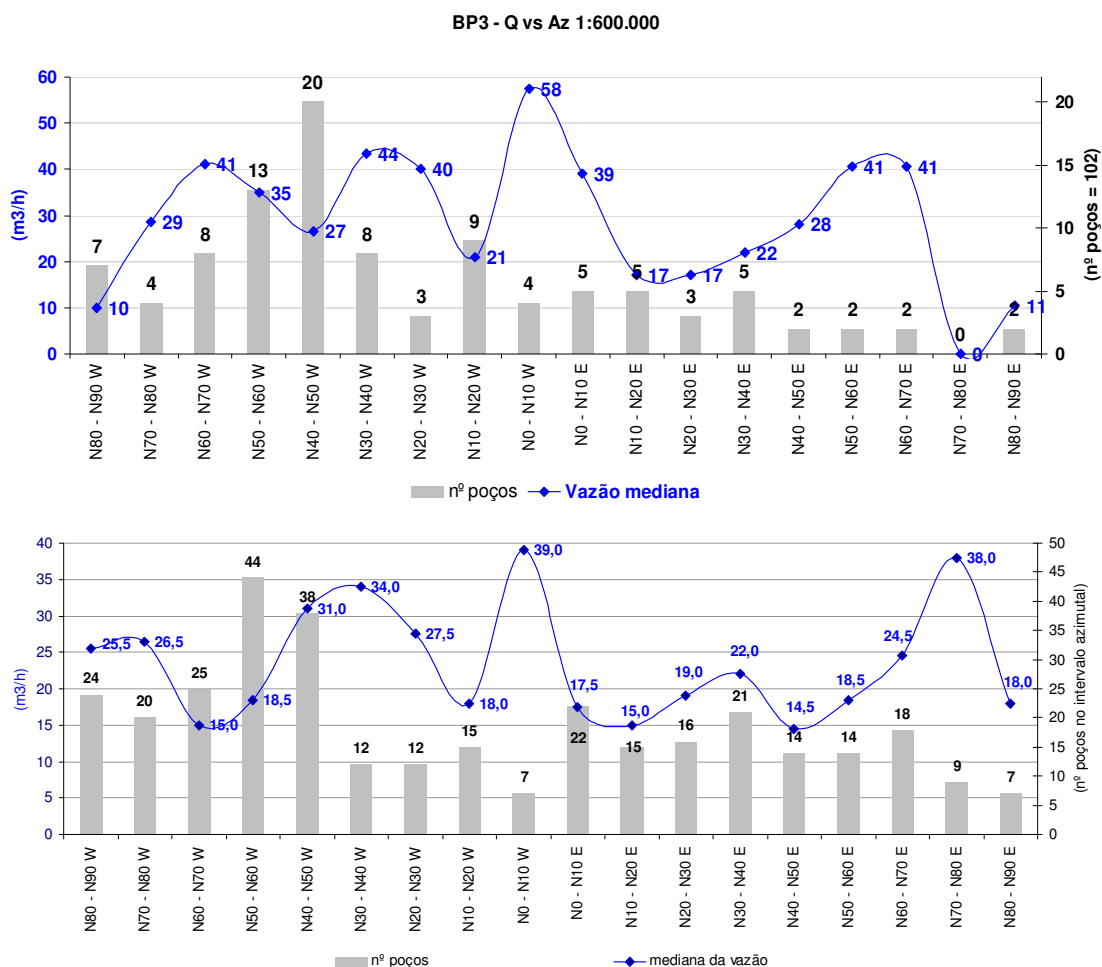


Figura 67: Gráfico com as vazões médias dos poços tubulares separadas por direções azimutais de lineamentos para a área da BP3 (gráfico superior) e considerando todo o SASG (gráfico inferior).

Com o objetivo de verificar se a alteração na escala de traçado modifica os resultados, foram utilizadas fotos e imagens orbitais, e realizado o traçado de lineamentos na escala 1:25.000, para a análise da vazão vs. azimuth do lineamento traçado sobre o poço tubular.

A área de análise na escala 1:25.000 compreende a BP3. A Figura 68 ilustra, como exemplo, o traçado de lineamentos sobre os poços tubulares profundos, nesta escala de análise.

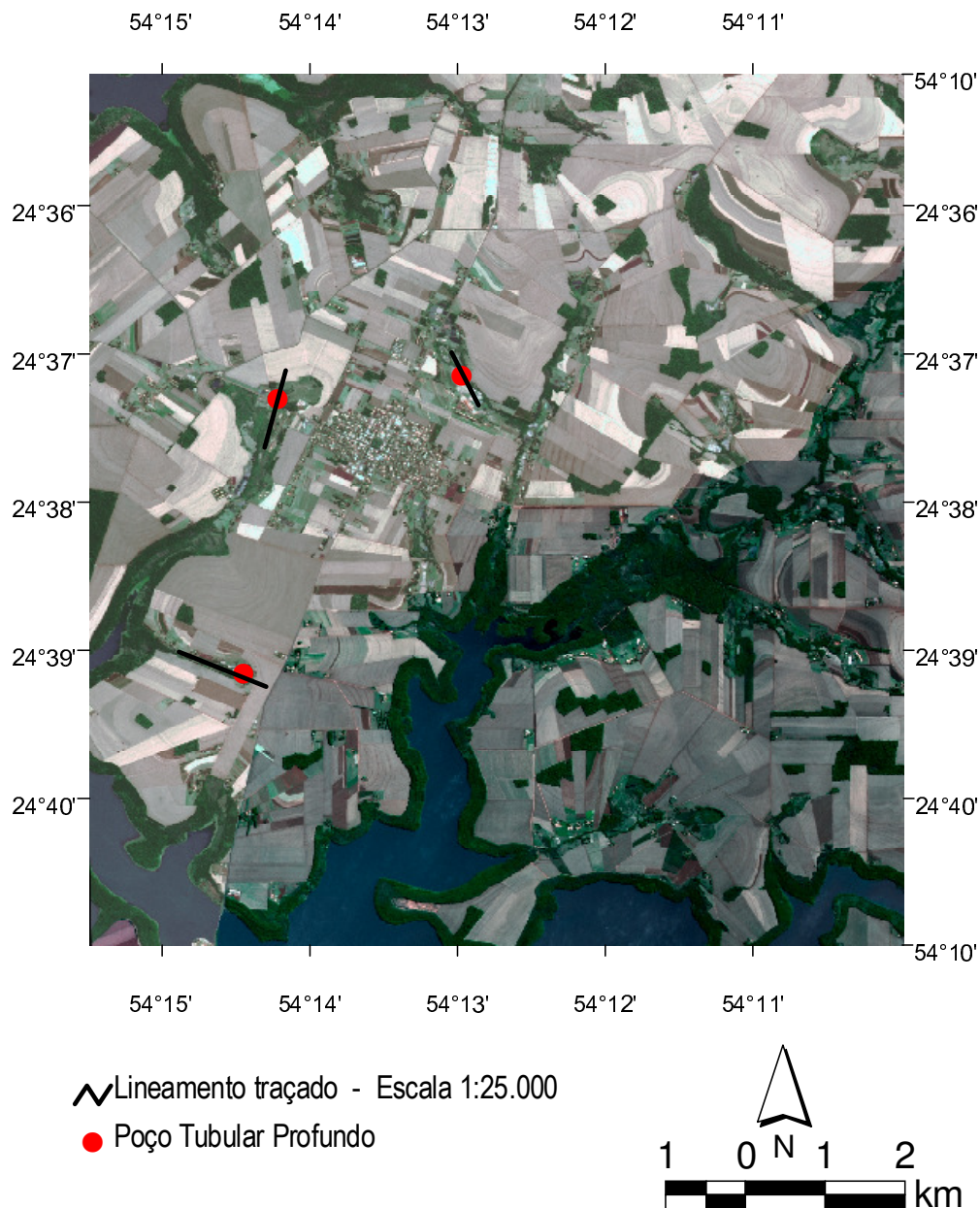


Figura 68: Imagem LANDSAT 7 da área da BP3, na escala 1:25.000 com os poços tubulares e lineamentos traçados.

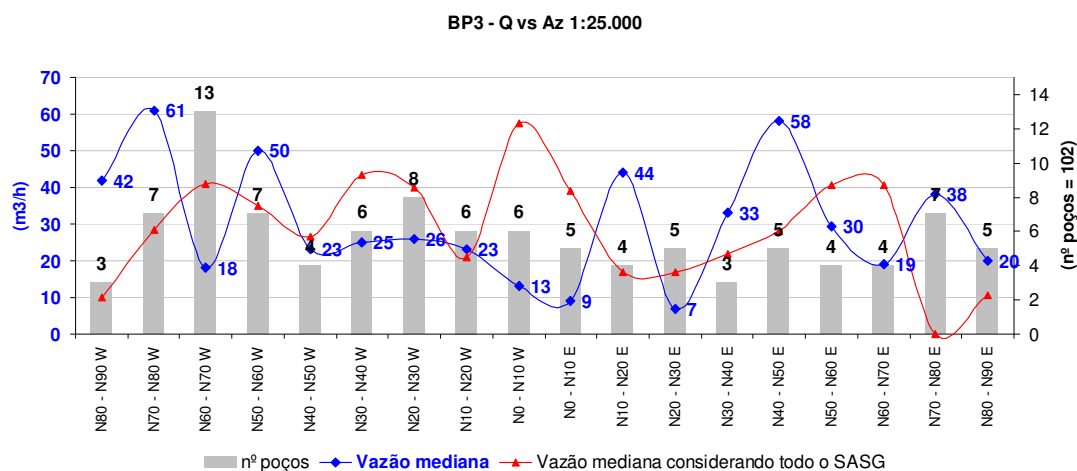


Figura 69: Gráfico comparativo entre as análises na escala 1:600.000 e 1:25.000 na BP3.

Observa-se que na escala 1:25.000 as respostas são diferentes da análise em escala regional (1:600.000) considerando a mesma área (BP3). (Figura 69). Destaca-se positivamente o intervalo N20W a N40W, cujas respostas assemelham-se nas duas escalas.

Uma das explicações da falta de correlação entre as escalas pode ser o nítido predomínio de estruturas NW na BP3, quando comparado a outras áreas do SASG.

Para melhor mensurar o quanto a variação de escala altera o resultado da análise uma das possibilidades é traçar na escala 1:25.000 toda área de ocorrência do SASG no Estado do Paraná.

4.3.3.1 Implicações tectônicas na produtividade dos poços

O papel da tectônica no fluxo e armazenamento da água subterrânea é exercer controle direcional nas fraturas abertas e de cisalhamento. Comparando os azimutes de maior produtividade com os dados do projeto WSM observa-se que os azimutes de maior tensão localizam-se principalmente segundo as direções leste – oeste e norte – sul. Tais azimutes corroboram intervalos de maior produtividade no SASG paranaense como N70° - 80°E; N70° - 90°W; N0° - 10°E e N10 - 20°W.

Outros intervalos de maior produtividade no SASG paranaense (N50° - 60°E e N30° - 50°W) assemelham-se as direções identificadas por Fernandes (2001 e 2011) no estado de São Paulo como paleo-direções de máximo esforço tectônico, cabendo destaque ao trabalho de 2011 nos basaltos de Ribeirão Preto/SP.

A Figura 70 apresenta uma roseta com os valores de capacidade específica dos poços separados em intervalos de 10° de azimute (referentes ao lineamento traçado). As setas indicam os azimutes de máxima tensão tectônica

obtidos por diferentes autores. Em pontilhado é apresentada a curva referente a mediana da capacidade específica de todos os poços aqui estudados.

Desta forma, em escala regional e para o estado do Paraná, a tectônica exerce influência significativa na produtividade dos poços. Lineamentos paralelos a direção de esforço principal possuem índices de produção mais elevados.

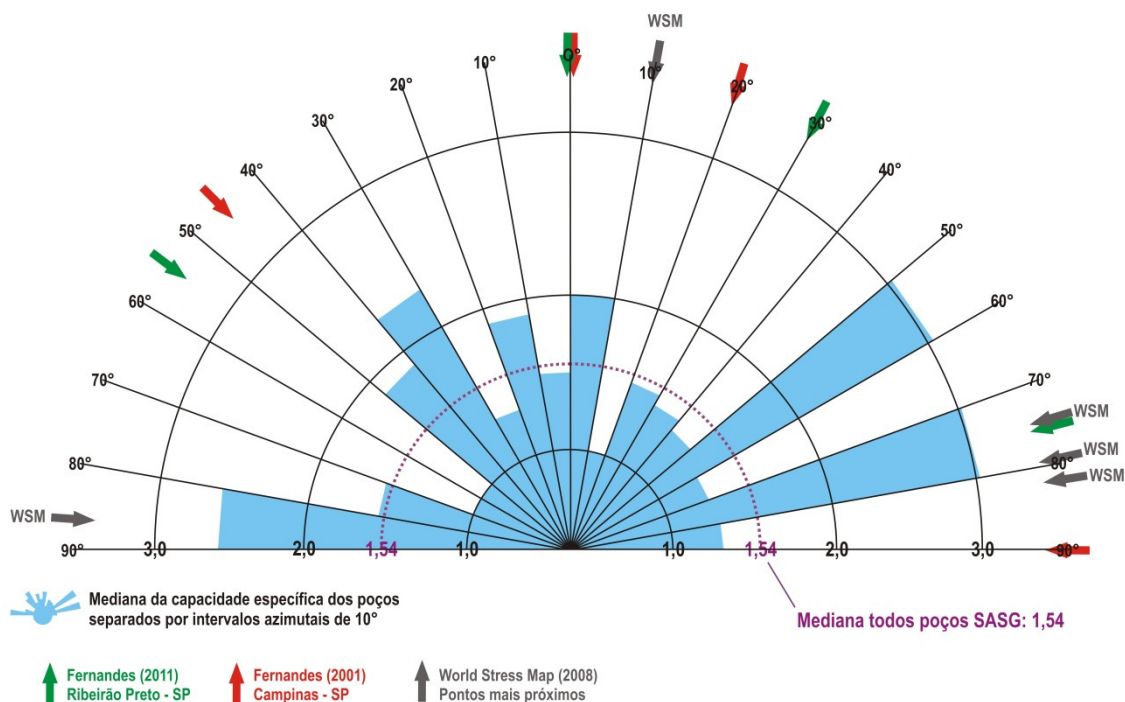


Figura 70: roseta com os valores de capacidade específica dos poços separados em intervalos de 10° de azimute (referentes ao lineamento traçado). As setas indicam os azimutes de máxima tensão tectônica obtidos por diferentes autores.

4.3.4 Densidade de lineamentos e produtividade dos poços

Utilizando os lineamentos traçados na escala 1:600.000 foram selecionadas áreas com valores de densidade de lineamentos acima do terceiro quartil (18,08 lineamentos por quilômetro quadrado). A Figura 71 apresenta a variação dos dados de densidade de lineamentos traçados.

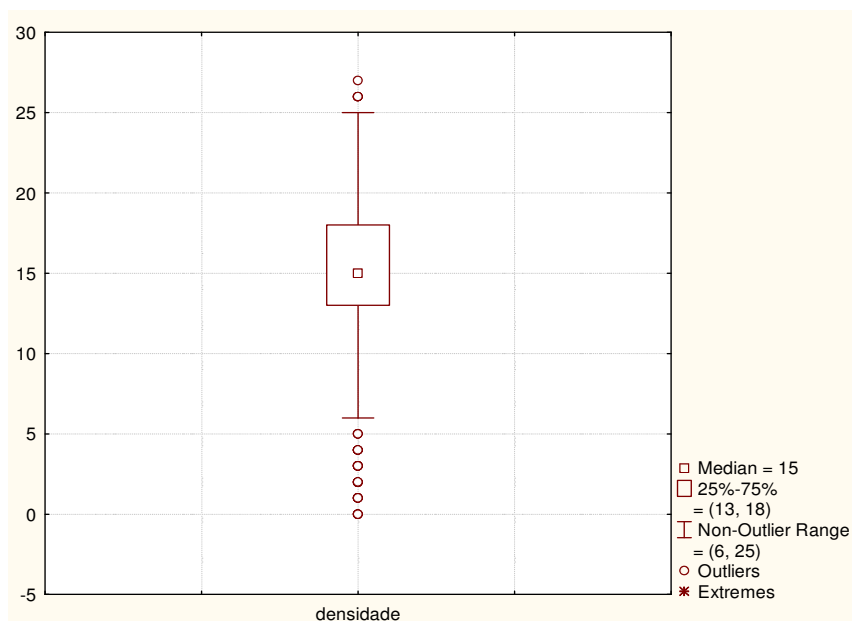


Figura 71: faixa de variação dos valores de densidade de lineamentos

Valores de densidade de lineamentos acima do terceiro quartil predominam nos compartimentos Maringá e Foz do Iguaçu (Figura 72, tons amarelos e laranjas), os quais possuem bons índices de produção.

Entretanto, destaca-se que ao comparar a localização dos poços com valores de capacidade específica acima do terceiro quartil e as áreas de alta densidade de lineamentos, não são observadas relações espaciais. Os poços com elevados índices de produção bordejam áreas com densidades de lineamentos acima do terceiro quartil.

A alta densidade de lineamentos caracteriza um reservatório bastante fraturado, possibilitando recargas mais expressivas e possivelmente compartimentos com maior capacidade de armazenamento, em função do aumento da porosidade secundária, mas não estão associados a altas produções do aquífero.

O compartimento Campo Mourão que apresenta poços com valores expressivos de produção e poucas áreas de alta densidade de lineamentos.

Este é um condicionante que pode caracterizar o grau de faturamento do reservatório / aquífero, entretanto não pode ser associado a valores de produção elevada nos poços tubulares.

Esta correlação negativa entre a densidade de lineamentos e a produtividade dos poços tubulares corrobora os dados de Athayde (2008) que analisou a densidade de lineamentos no SASG na área da BP3, em três diferentes escalas e não encontrou boas correlações entre densidade de lineamentos e produtividade dos poços.

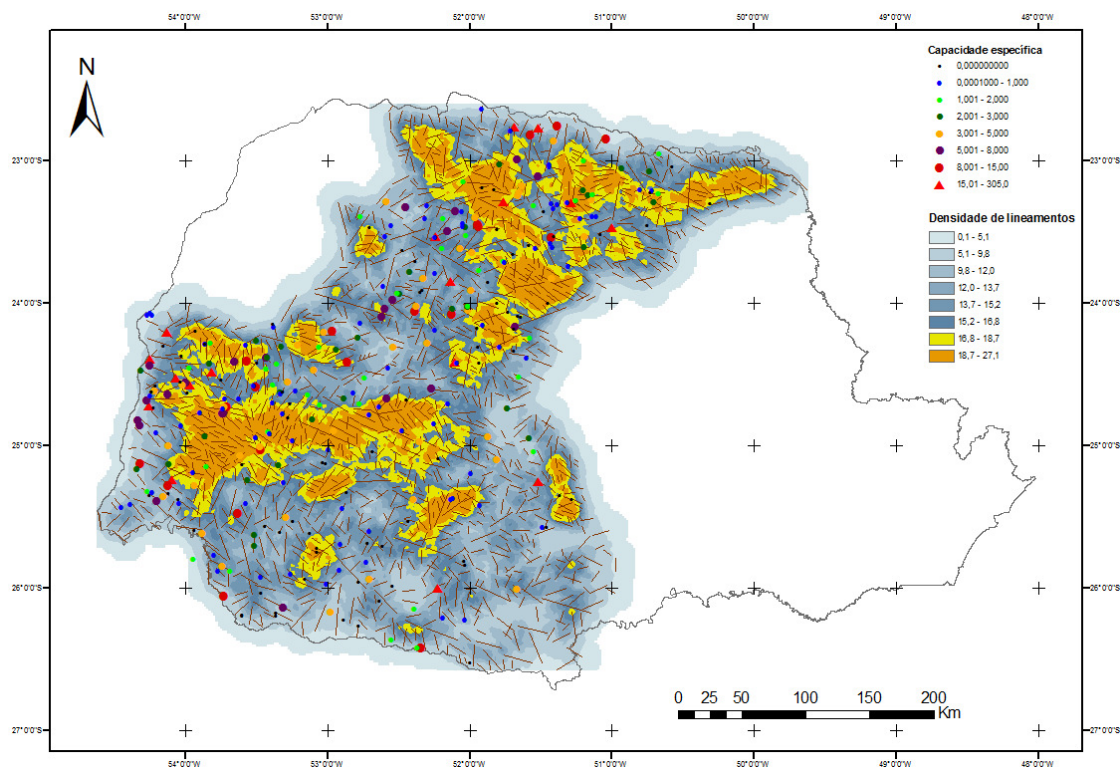


Figura 72: Mapa da densidade dos lineamentos e poços representando a capacidade específica, destacados em tons de laranja os valores de densidade acima do terceiro quartil.

4.3.5 Geomorfologia regional

A comparação dos condicionantes geomorfológicos com valores médios de capacidade específica e vazão dos poços (Tabela 10) permitiu identificar os condicionantes que subsidiem na locação de poços tubulares potencialmente produtores.

A dissecação do relevo é inversamente proporcional a produtividade dos poços (Figura 73). Terrenos com alta, média e baixa dissecação apresentam valores de capacidade específica dos poços de 1,09; 1,41 e 2,41 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, respectivamente.

Uma possível explicação é que áreas com baixa dissecação apresentam processos erosivos reduzidos, baixa velocidade de escoamento superficial e maior potencial de infiltração (aspecto favorável à recarga do aquífero fraturado).

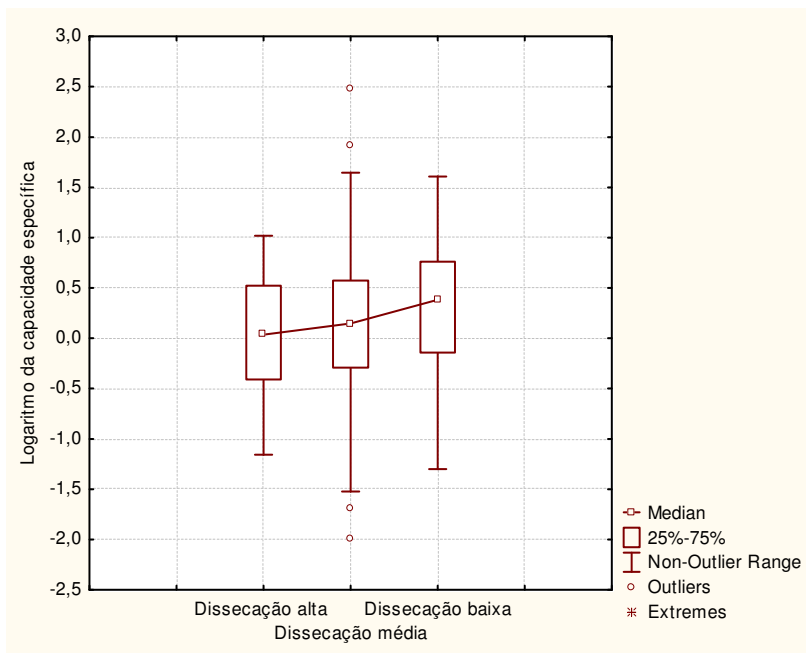


Figura 73: Gráfico de correlação entre a dissecação e a capacidade específica dos poços (capacidade específica em logaritmo).

Poços tubulares localizados em topos alongados e aplainados, e topos aplainados apresentam os maiores valores de médiana da capacidade específica ($2,92$ e $2,22 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}$, respectivamente). Topos alongados e em cristas apresentam os menores valores médianos de produtividade ($1,16 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}$). A Figura 74 apresenta as faixas de variação da capacidade específica dos poços (plotada em logaritmo) separadas por forma do topo.

Os topos alongados e aplainados favorecem a recarga do aquífero. Isso deve garantir o volume necessário para bons índices de produção dos poços, quando associados a boas características petrofísicas do reservatório aquífero.

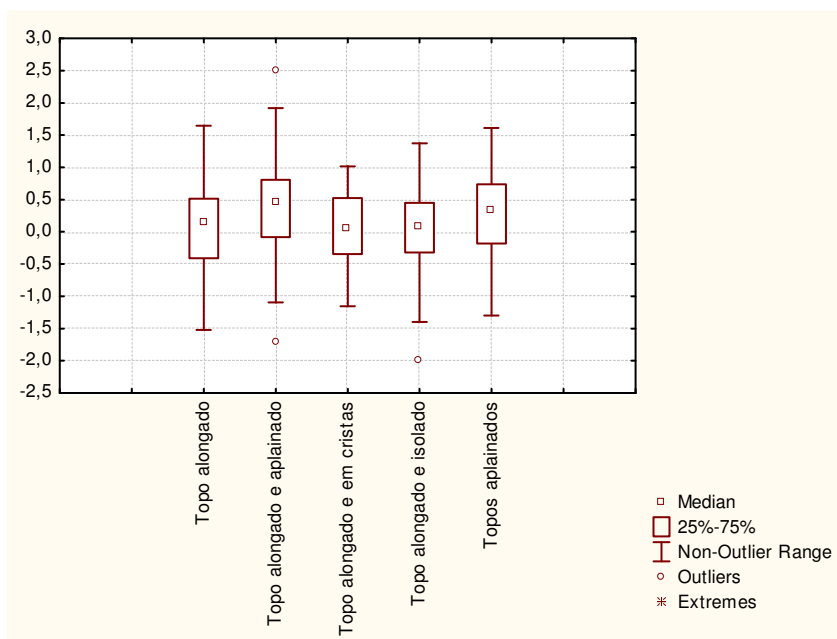


Figura 74: Gráfico de correlação a condicionante geomorfológica forma do topo e a capacidade específica dos poços.

Poços situados em “vertentes retilíneas e côncavas na base” apresentam os maiores valores de capacidade específica (média de $2,43 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$). Poços situados em vertentes convexas apresentam média da capacidade específica de $1,77 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. Os menores valores de produtividade estão relacionados aos poços situados em vertentes retilíneas e côncavas (média da capacidade específica de $0,11 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).

Vertentes côncavas concentram o escoamento superficial, já vertentes convexas dispersam o escoamento o que geralmente favorece a infiltração e recarga. As vertentes retilíneas representam a interface entre as duas vertentes supracitadas.

A Figura 75 apresenta as faixas de variação da capacidade específica dos poços (plotada em logaritmo) separadas por forma da vertente.

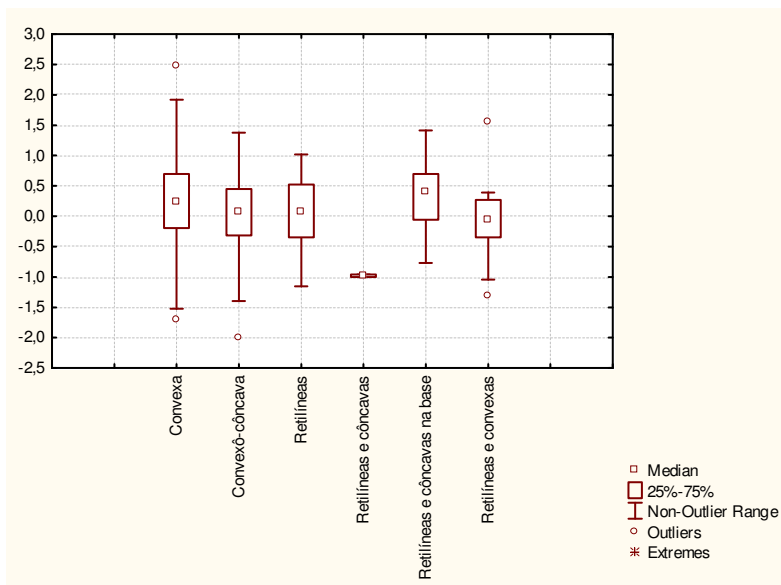


Figura 75: Gráfico de correlação entre a forma das vertentes e a capacidade específica dos poços.

Poços localizados em “Vales em Calha” apresentam os maiores valores da médiana de capacidade específica ($2,43 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$). Secundariamente estão os poços situados em “Vales em V” (médiana da capacidade específica de $1,82 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).

A Figura 76 apresenta as faixas de variação da capacidade específica dos poços (plotada em logaritmo) separadas por forma do vale. Observa-se que os vales em V apresentam melhor produtividade que os vale em U. Este fato deve refletir o condicionante estrutural na orientação das drenagens.

Desta maneira, os condicionantes geomorfológicos que apresentam valores de capacidade específica dos poços acima da médiana geral do SASG são em ordem de produtividade: topos alongados e aplainados; vertentes retilíneas e côncavas na base; vales em calha; topos aplainados; vales em V e vales em V encaixados.

Uma explicação sobre a boa produtividade dos poços situados em topos alongados e aplainados é que este tipo de local favorece a recarga, uma vez que apresenta baixo potencial de escoamento superficial, garantindo volumes à produção. Os vales em calha e em V destacam-se como condicionados pelo maior faturamento das rochas, geralmente nos vales a ocorrência de água mantem as estruturas abertas (tectônicas e atectônicas) saturadas em água, aumentando o potencial de produção.

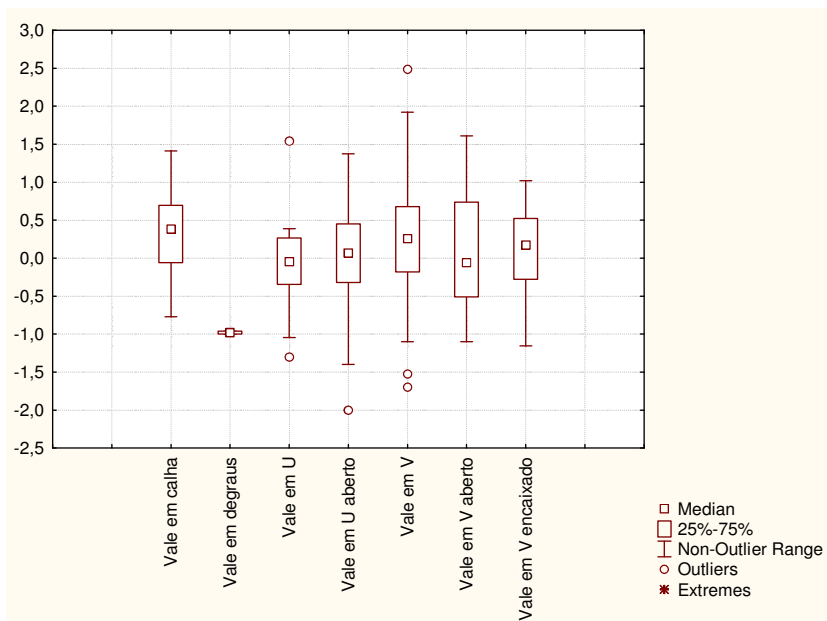


Figura 76: Gráfico de correlação entre a forma dos vales e a capacidade específica dos poços.

Os poços tubulares do SASG foram separados de acordo com as subunidades geomorfológicas apresentadas em MINEROPAR (2006a). Desta maneira foi calculado o valor da médiana dos índices de produção das subunidades geomorfológicas.

Posteriormente foi elaborado um mapa (Figura 77) onde as seis subunidades mais produtivas receberam a cor verde, as seis subunidades com produtividade intermediária receberam a cor amarelo, e as subunidades menos produtivas a cor vermelha.

A classificação das subunidades baseou-se nos seguintes limites:

- Verde para subunidades com índices de produção maiores que o terceiro quartil.
- Amarelo para subunidades com índices de produção entre o primeiro e terceiro quartis.
- Vermelho para subunidades com índices de produção menores que o primeiro quartil.

Nota-se que a subdivisão em cores confirma os compartimentos hidroestruturais definidos, predominando cores verdes no compartimento Maringá (mais produtivo) e cores amarelas e vermelhas no Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia, o de pior produtividade.

É importante notar que a escala de cores dos poços tubulares profundos apresenta as melhores produtividades em tons de vermelhos, conforme descrito no capítulo três.

Tabela 10: Condicionantes geomorfológicos analisados e os valores da mediana de vazão e capacidade específica dos poços tubulares profundos.

Condicionantes geomorfológicos	Mediana dos valores		Nº poços
	Capacidade específica ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$)	Vazão (m^3h^{-1})	
Dissecação alta	1,09	11,5	44
Dissecação média	1,41	20,0	162
Dissecação baixa	2,41	31,0	94
Topos alongados	1,35	19,0	80
Topos alongados e em cristas	1,16	9,0	27
Topos alongados e isolados	1,17	15,0	49
Topos aplainados	2,22	28,0	76
Topos alongados e aplainados	2,92	34,0	69
Vertentes retilíneas e côncavas	0,11	7,0	2
Vertentes retilíneas e convexas	0,90	18,0	9
Vertentes retilíneas	1,16	9,0	27
Vertentes convexas e convexo-côncavas	1,17	15,0	49
Vertentes convexas	1,77	22,0	172
Vertentes retilíneas e côncavas na base	2,43	37,0	42
Vales em degraus	0,11	7,0	2
Vales em V aberto	0,88	17,0	35
Vales em U	0,90	18,0	9
Vales em U aberto	1,17	15,0	49
Vales em V encaixado	1,50	9,0	23
Vales em V	1,82	23,5	140
Vales em calha	2,43	37,0	42
Planalto do Foz do Areia	0,11	7,0	2
Planalto do Alto Capanema	0,38	6,5	4
Planalto de Francisco Beltrão	0,48	11,0	13
Planalto Pitanga/Ivaiporã	0,53	16,0	15
Planalto de Palmas/Guarapuava	0,90	18,0	9
Planalto do Alto/Médio Piquiri	1,17	15,0	49
Planalto de Apucarana	1,37	18,0	15
Planalto do Baixo Iguaçu	1,50	9,0	23
Planalto de Cascavel	1,57	22,0	44
Planalto de Foz do Iguaçu	1,97	19,0	23
Planalto do São Francisco	2,31	32,5	10
Planalto de Campo Mourão	2,43	37,0	42
Planalto de Londrina	2,46	21,0	25
Planalto de Umuarama	3,46	19,0	7
Planalto de Maringá	3,88	51,0	18
Planalto do Médio Paranapanema	5,76	5,8	2

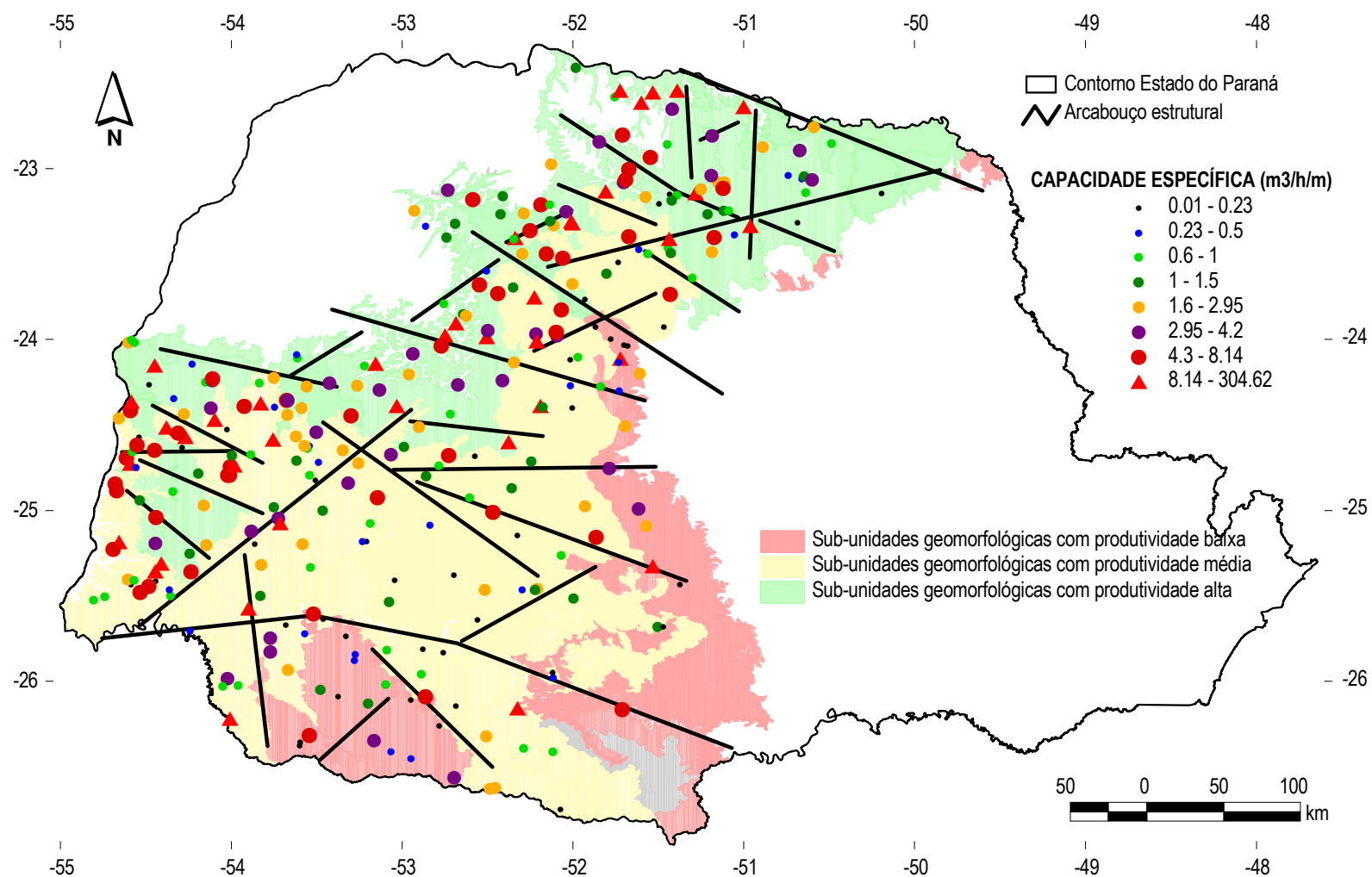


Figura 77: Sub-unidades geomorfológicas agrupadas segundo potencialidades hidrogeológicas.

4.4 Análise hidroquímica do SASG no Estado do Paraná

O estudo aqui apresentado abordará sequencialmente aspectos hidroquímicos relacionados a características químicas das águas, sua possível proveniência e aptidões *in natura* para consumo humano e irrigação.

Foram realizados cálculos, gráficos e mapas que auxiliaram na caracterização hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral paranaense.

A diferença de balanço iônico calculada apresentou mediana de 1,36%. O desvio padrão foi de 4,5%. O histograma dos valores de DBI é apresentado na Figura 78.

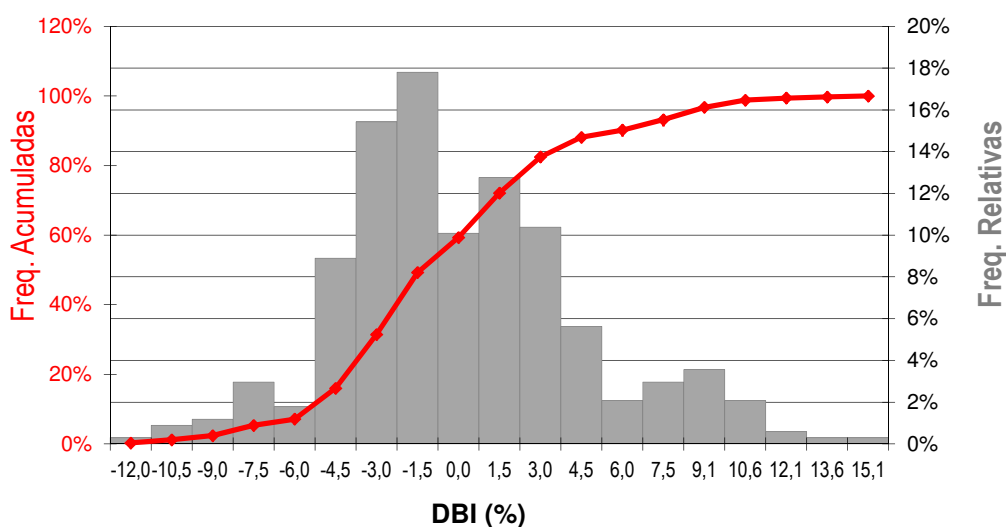


Figura 78: Histograma com os valores de DBI em % dos 337 poços tubulares.

Mapas com a distribuição espacial dos teores, quando apresentados neste capítulo, utilizam legendas em percentil (0-25% / 25-50% / 50-75% e 75 – 100%). Os valores em percentil dos parâmetros hidroquímicos utilizados são apresentados na Tabela 11. Consideraram-se anômalos os teores / valores acima do terceiro quartil.

Tabela 11: Percentis das variáveis, os quais subsidiam a escala em cores dos mapas hidroquímicos da Formação Serra Geral no Paraná.

Percentil	Cond. (μS)	Temp. °C	pH	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺ (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
máximo	1257,00	28,70	10,21	189,03	1076,00	81,90	222,88	135,16	27,0	74,65	3,55	8,95	580,00	55,97	13,88	320,00	20,00
99	457,28	25,93	9,96	169,27	321,60	73,62	196,17	62,29	1,0	27,91	1,84	0,66	46,28	45,32	12,74	87,54	4,28
98	394,32	25,40	9,94	151,12	291,68	71,34	177,77	56,09	0,0	16,62	1,43	0,57	16,74	41,99	11,70	73,12	2,91
97	372,40	25,20	9,92	142,85	277,84	70,00	170,19	52,28	0,0	13,81	0,87	0,53	12,13	38,97	10,19	69,00	2,50
95	326,80	24,50	9,80	128,97	243,20	65,56	146,20	41,51	5,0	11,63	0,69	0,48	4,60	36,34	9,29	62,48	2,02
95	295,44	24,30	9,56	118,82	230,48	62,30	139,43	34,06	0,0	9,49	0,63	0,45	0,50	32,11	8,88	55,17	1,70
91	283,00	24,10	9,45	114,15	221,52	60,58	136,42	30,51	7,0	8,22	0,59	0,41	0,50	30,03	8,09	52,00	1,60
90	278,00	24,05	9,37	108,31	219,00	59,36	130,89	27,13	29,0	7,64	0,57	0,40	0,50	29,85	7,89	49,86	1,43
85	254,00	23,80	8,94	95,80	201,00	53,12	120,68	12,82	3,0	5,79	0,45	0,35	0,50	26,59	6,91	34,24	1,20
75	213,00	23,40	7,90	74,68	177,00	50,50	108,29	0,00	14,0	3,84	0,28	0,27	0,50	20,90	5,38	19,60	0,90
65	191,20	23,10	7,55	65,33	163,00	48,10	97,68	0,00	2,0	2,98	0,22	0,22	0,50	18,36	4,36	13,00	0,72
50	162,19	22,60	7,26	54,14	143,00	44,90	84,03	0,00	1,0	1,71	0,13	0,15	0,50	14,89	3,28	8,50	0,60
40	144,54	22,00	7,09	43,97	132,40	42,08	75,10	0,00	0,0	1,27	0,09	0,12	0,50	12,85	2,62	6,89	0,50
25	120,50	21,40	6,89	29,47	112,00	38,20	62,89	0,00	17,0	0,72	0,02	0,07	0,50	8,87	1,34	5,40	0,40
15	99,84	20,63	6,64	17,28	97,40	34,34	51,92	0,00	4,0	0,47	0,01	0,02	0,50	4,89	0,36	4,00	0,30
5	69,24	19,70	6,33	4,33	69,00	25,64	31,13	0,00	28,0	0,11	0,01	0,02	0,50	1,47	0,14	2,39	0,20
mínimo	35,8	10,3	5,4	1,8	33,0	0,1	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,9	0,1
desvio padrão	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	2,3	1,9	1,5	2,0	1,3	1,3	1,2	1,5	1,2	1,1
N (número de ocorrências)	337																

4.4.1 Influência da profundidade de circulação na química da água subterrânea

Na medida em que a água subterrânea se move ao longo da linha de fluxo, espera-se que a acidez seja consumida pelas reações de intemperismo químico e que haja um aumento na quantidade de sólidos dissolvidos na solução de lixiviação (Freeze e Cherry, 1979). A Figura 79 apresenta a correlação entre os valores obtidos de pH e STD, demonstrando esta relação para as amostras coletadas no SASG.

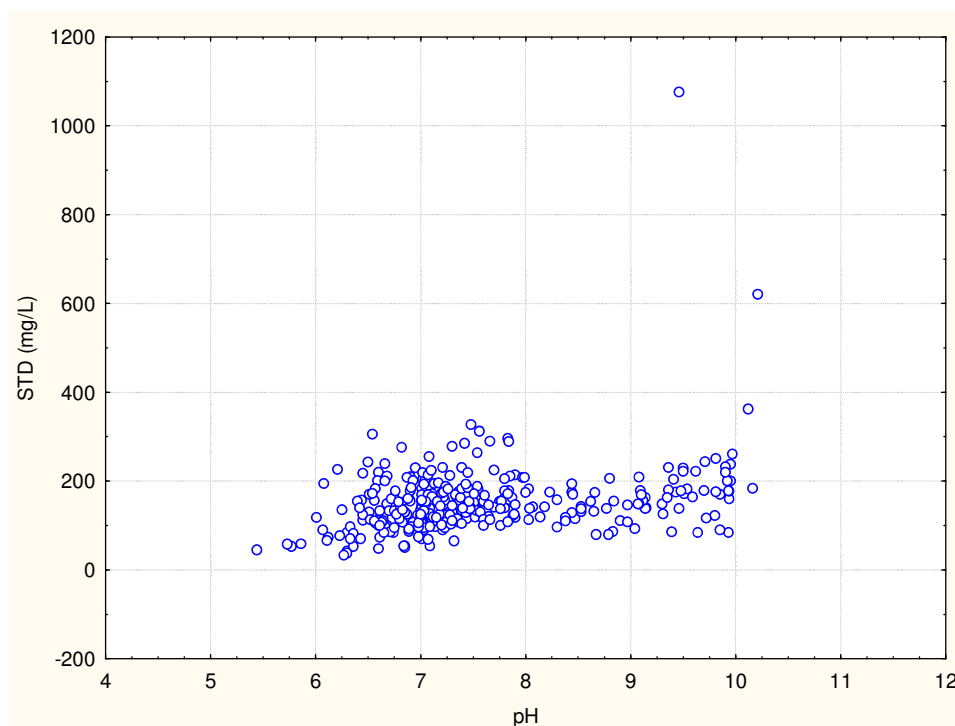


Figura 79: Gráfico de correlação entre as variáveis STD e pH.

Gráficos de correlação dos parâmetros pH e STD com a profundidade da entrada de água são apresentados na Figura 80. Ainda que os valores de correlação sejam baixos, a tendência de aumento em função da profundidade é observada, corroborando a referencia citada no paragrafo anterior.

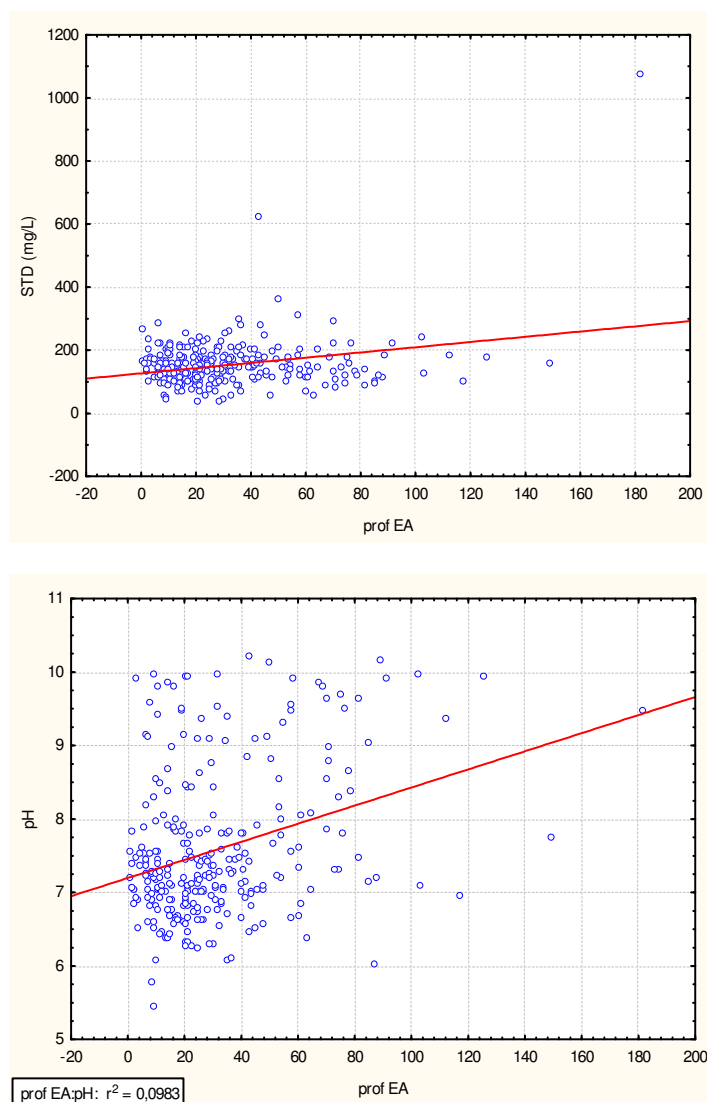


Figura 80: Gráficos de correlação dos parâmetros STD (superior) e pH (inferior) com a profundidade da entrada de água.

A mesma análise considerando o sódio (hipótese de troca iônica e evolução química das águas) também corrobora a influência da profundidade no quimismo. A tendência geral é de incremento dos teores de sódio com a profundidade. A Figura 81 mostra o gráfico de correlação ($r^2=0,14$) entre os parâmetros mencionados.

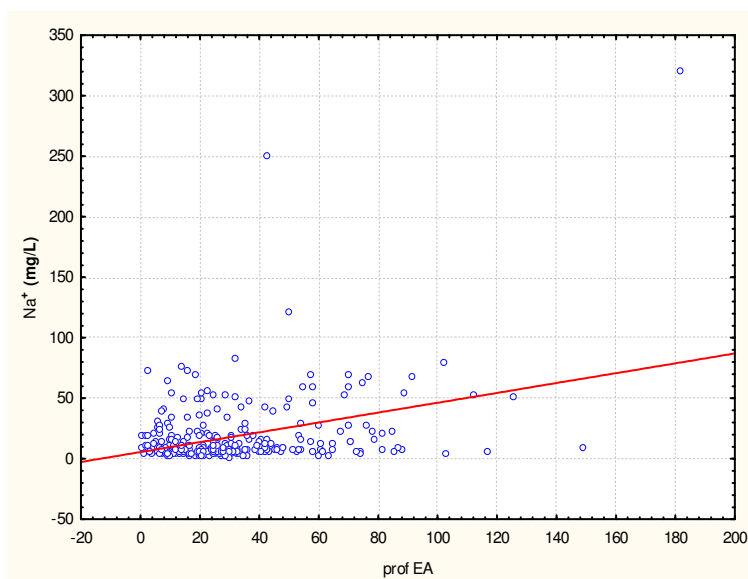


Figura 81: Gráfico de correlação entre o sódio e a profundidade de entrada de água.

4.4.2 Classificação química das águas

A análise dos principais cátions e ânions das amostras coletadas em 337 poços tubulares que captam o SASG permitiu classificar 12 tipos de água. Quatro grandes grupos de água foram classificados dentre as amostras analisadas: águas tipo bicarbonatadas; tipo carbonatadas; águas tipo sulfatadas; e tipo nitrada.

Predominam as águas bicarbonatadas cálcicas, seguidas pelo tipo bicarbonatada sódica. A Figura 82 apresenta o Diagrama de Piper das amostras coletadas no SASG.

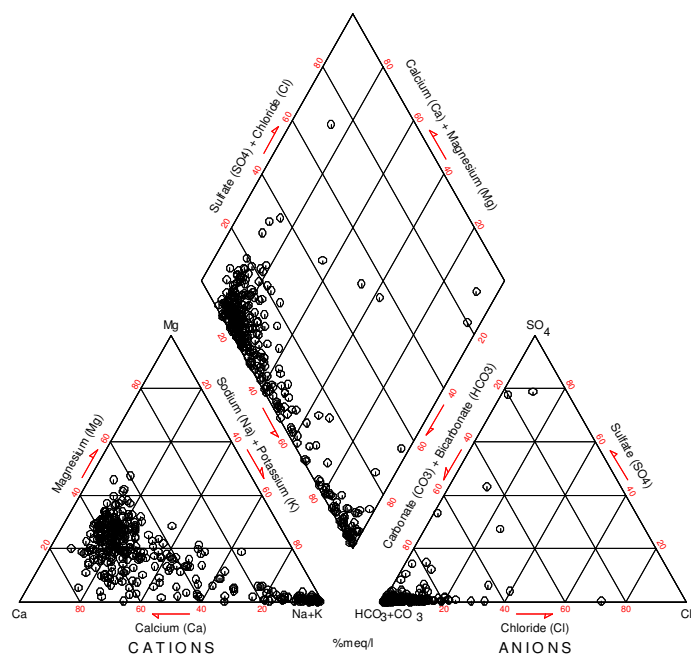


Figura 82: Diagrama de Piper com as amostras coletadas no SASG.

A Figura 83 apresenta um gráfico com os tipos de água classificados e o número de ocorrências nas amostras coletadas nos poços tubulares.

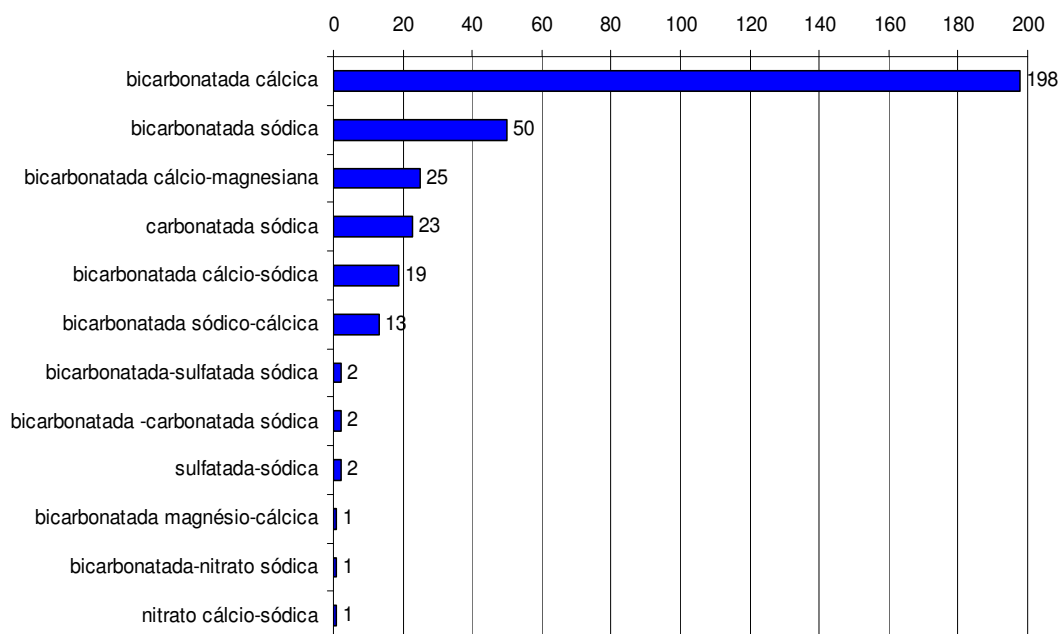


Figura 83: Tipos de água classificados nas amostras coletadas no SASG.

O mapa com a localização dos tipos de água classificados é apresentado na Figura 84. Não é apresentada a Fm. Serra Geral para melhor visualização.

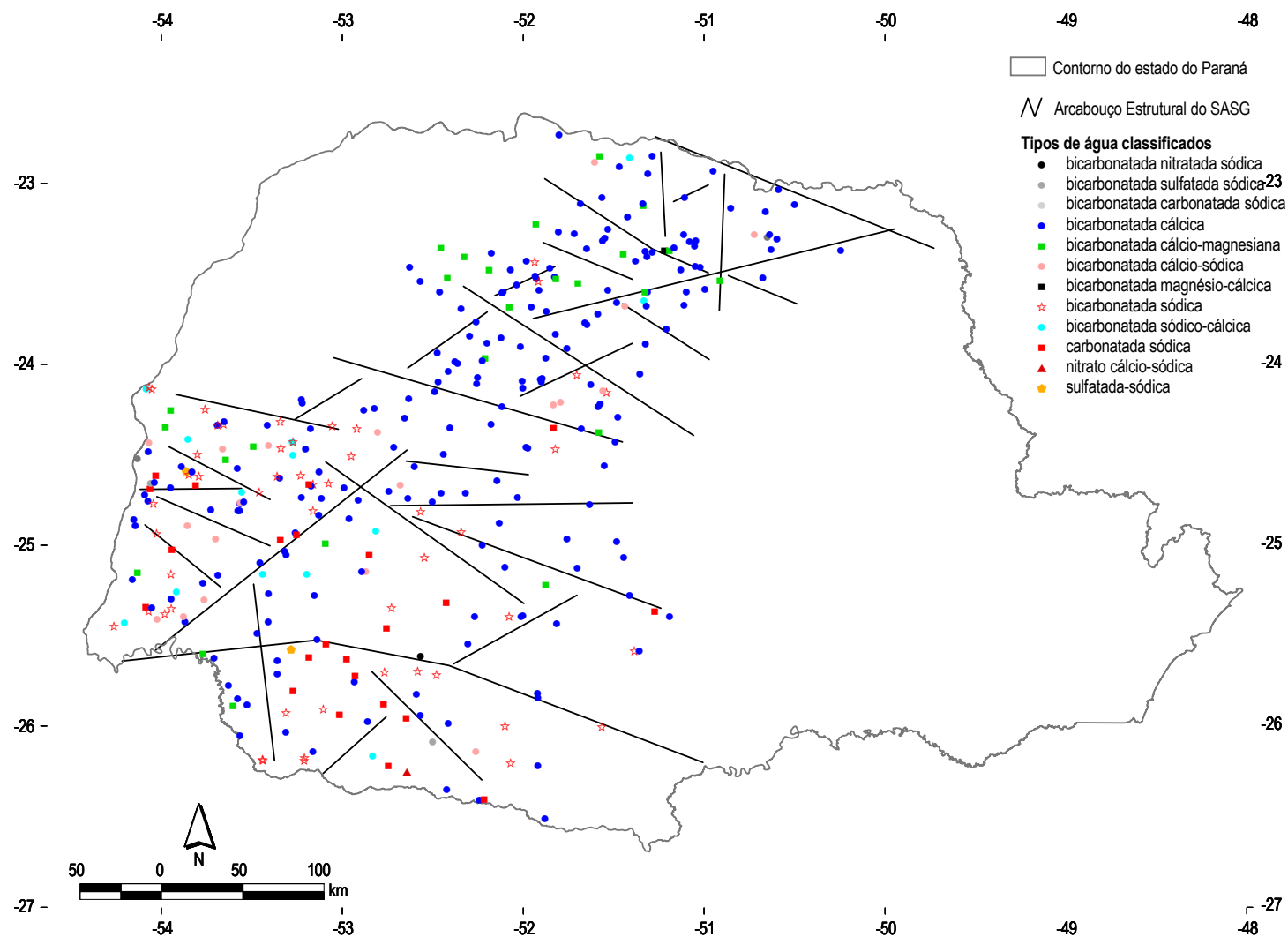


Figura 84: Mapa com a distribuição dos tipos de água classificados para o SASG.

No Compartimento Hidroestrutural Maringá existem 86 poços. Predomina o tipo químico bicarbonatada cálcica com 64 ocorrências. Os outros tipos químicos classificados foram: bicarbonatada cálcio magnesiana (13 poços); bicarbonatada cálcio sódica (três casos); bicarbonatada sódica e bicarbonatada sódico cálcica com dois poços para cada tipo, uma ocorrência de água tipo bicarbonatada sulfatada sódica e um poço apresentou águas tipo bicarbonatada magnésio sódica.

No Compartimento Hidroestrutural Campo Mourão foram classificados cinco tipos químicos dentre os 68 poços tubulares existentes. Predomina o tipo químico bicarbonatada cálcica (53 poços). Secundariamente foram classificadas águas bicarbonatadas sódicas (seis poços); bicarbonatada cálcio sódica (cinco poços); bicarbonatada cálcio magnesiana (três poços) e um poço classificado como água carbonatada sódica.

O Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu possui 91 poços tubulares e nove tipos químicos classificados. Já não há predomínio nítido das águas bicarbonatadas cálcicas, ainda que este tipo químico seja o preponderante no compartimento (35 poços). Nota-se um aumento expressivo dos poços classificados com águas bicarbonatadas sódicas (24 ocorrências). Nove poços possuem águas bicarbonatadas cálcio sódicas; oito poços apresentam águas carbonatadas sódicas; sete poços possuem tipo químico bicarbonatada sódio cálcica; águas bicarbonatadas cálcio magnesianas foram classificadas em cinco poços e existe uma ocorrência de águas bicarbonatadas sulfatadas sódicas, uma de água sulfatada sódica e um poço possui água tipo bicarbonatada carbonatada sódica.

Dez tipos químicos de água foram classificados após análise dos 92 poços situados no Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia. Predomina o tipo bicarbonatada cálcica com 46 ocorrências. Águas do tipo bicarbonatada sódica foram classificadas em 18 poços; águas carbonatadas sódicas são descritas em 14 poços; quatro poços possuem água bicarbonatada cálcio magnesiana e outros quatro apresentam águas bicarbonatadas sódico cálcicas. Dois poços possuem águas tipo bicarbonatadas cálcio sódicas. Águas do tipo bicarbonatada carbonatada sódica, sulfatada sódica, bicarbonatada nitrada sódica e nitrada cálcio sódica possuem uma ocorrência cada neste compartimento.

A Figura 85 apresenta um gráfico com os tipos de água classificados em cada compartimento.

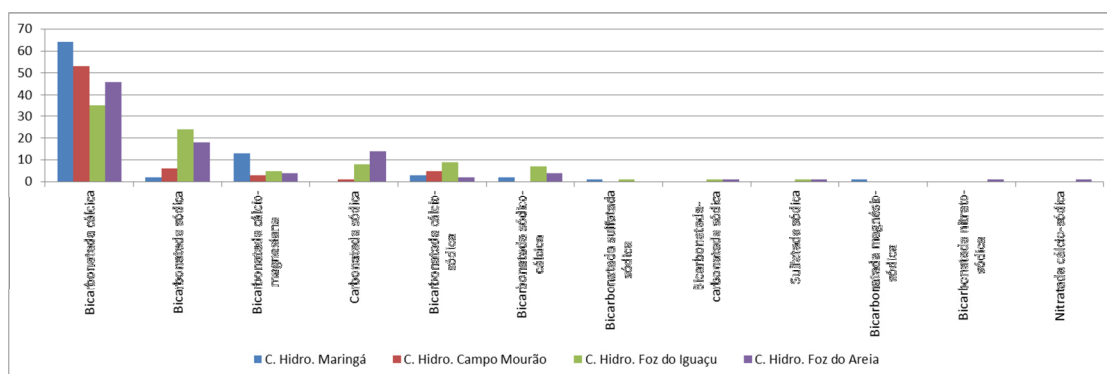


Figura 85: Gráfico com os tipos de água classificados em cada compartimento.

A Tabela 12 apresenta os valores médianos dos principais íons analisados. O fluoreto foi detectado em parte dos poços, em todos os compartimentos: três no compartimento Maringá; seis no compartimento Campo Mourão; 27 no compartimento Foz do Iguaçu e 13 no compartimento Foz do Areia. Os valores de sulfato e fosfato não foram plotados em função da médiana ser igual ao limite de detecção.

Tabela 12: Médiana das concentrações dos diferentes íons, separados por compartimentos Hidroestruturais.

Compartimentos Hidroestruturais	Ca ⁺	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ⁻³	CO ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ⁻³	SiO ⁻²	T	pH	STD
C. Hidro. Maringá	19,0	5,1	6,7	0,8	89,0	0,0	1,0	3,0	6,0	51,1	23,1	8,0	156,5
Médiana de 86 amostras													
C. Hidro. C. Mourão	17,0	3,1	7,3	0,6	82,5	26,0	1,4	3,0	4,0	45,8	22,2	8,3	137,0
Médiana de 68 amostras													
C. Hidro. Foz do Iguaçu	12,0	2,2	14,2	0,6	83,0	21,8	1,0	1,0	1,5	41,9	23,0	8,8	140,0
Médiana de 91 amostras													
C. Hidro. Foz do Areia	13,5	2,3	9,5	0,5	78,0	35,6	1,0	3,0	2,0	41,3	21,1	8,4	138,0
Médiana de 92 amostras													

O diagrama de Piper com os valores médianos de cada compartimento é apresentado na Figura 86. Neste diagrama observa-se a evolução hidroquímica das águas (redução das concentrações de cálcio e aumento nas de sódio), onde o Compartimento Maringá representa o tipo químico predominante do SASG, e o Compartimento Foz do Iguaçu as águas de circulação mais profundas, com maior tempo de residência no aquífero. Ressalta-se que foi utilizado valor zero para o íon sulfato, em função de a análise basear-se na médiana de cada compartimento.

Piper mediana dos Compartimentos Hidroestruturais

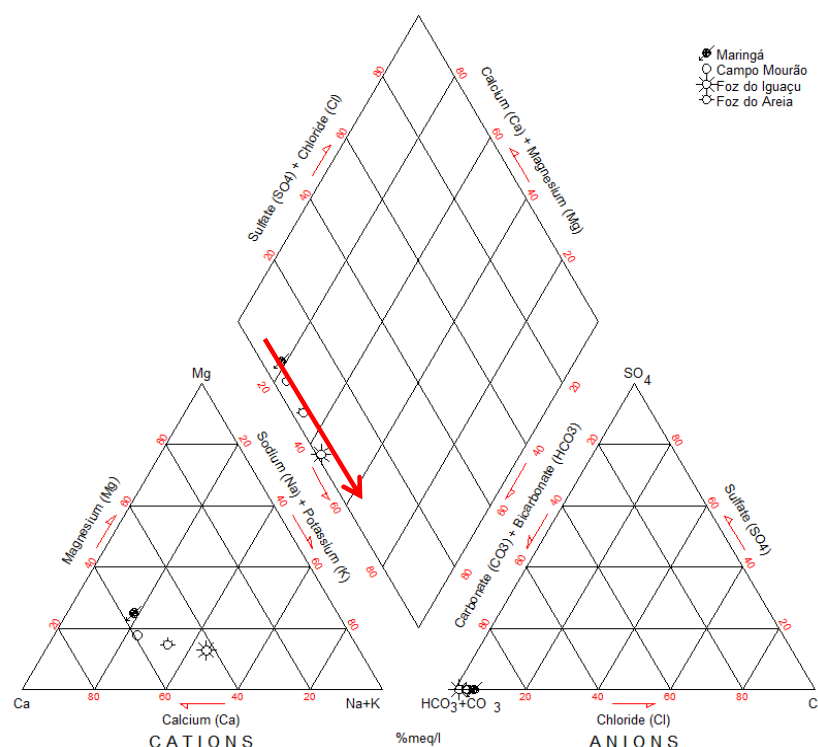


Figura 86: Diagrama de Piper representado a médiana das concentrações em cada compartimento. A seta vermelha indica o sentido de evolução das águas.

4.4.3 Relações iônicas e dedução sobre a origem dos elementos

As relações iônicas auxiliaram no entendimento dos processos que ocorreram durante o fluxo subterrâneo, e que modificaram o quimismo da água.

A relação bicarbonato / sílica nos poços estudados indica predomínio da alteração de silicatos como fonte de minerais dissolvidos na água.

A ocorrência de bicarbonato nas águas é associada à percolação de águas superficiais nas áreas de recarga, proveniente da combinação da água com o CO_2 presente nos solos, bem como por meio da dissolução de carbonatos presentes na rocha, quando em subsuperfície. O íon carbonato torna-se detectável a partir de valores de pH acima de 8,3.

A origem do cálcio nas águas subterrâneas é atribuída à dissolução da calcita e outros silicatos, segundo os valores obtidos na relação cálcio / sulfato. Outras fontes, quando se considera a relação bicarbonato / sílica, são atribuídas a anortita (plagioclásio) e a minerais ferromagnesianos. A relação $\text{Ca}^+ / (\text{Ca}^+ + \text{SO}_4^{2-})$ indica a ocorrência de outras fontes de cálcio (silicatos) que não dissolução da gipsita nas águas do SASG, corroborando os resultados anteriores.

A relação Sílica / $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)$ caracteriza predomínio de alteração de minerais ferromagnesianos (olivinas, piroxênios ou anfibólios) como fonte de sódio nas águas. Esta relação é predominante nos processos

hidrogeoquímicos que ocorrem nos Compartimentos Hidroestruturais Maringá e Campo Mourão. Nos compartimentos Foz do Iguaçu e Foz do Areia é nítido o aumento de poços com resultados desta relação iônica indicando troca catiônica como fonte de sódio. Este fato corrobora os compartimentos Foz do Iguaçu e Foz do Areia como áreas de descarga, com ocorrência de fluxos mais profundos e com maior tempo de transito no aquífero.

A relação $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$ sinaliza para a fonte de sódio estar relacionada à albita e ou troca iônica e não a halita.

A partir do resultado da relação bicarbonato / sílica (química da água resultante de intemperismo de silicatos) e da relação $\text{Mg} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ observa-se que predomina o intemperismo de minerais ferromagnesianos como olivinas como fonte de magnésio nas águas. Existe um contínuo enriquecimento em magnésio com o aumento nas concentrações de sílica (Figura 87). Esse processo é representado pela seguinte reação:

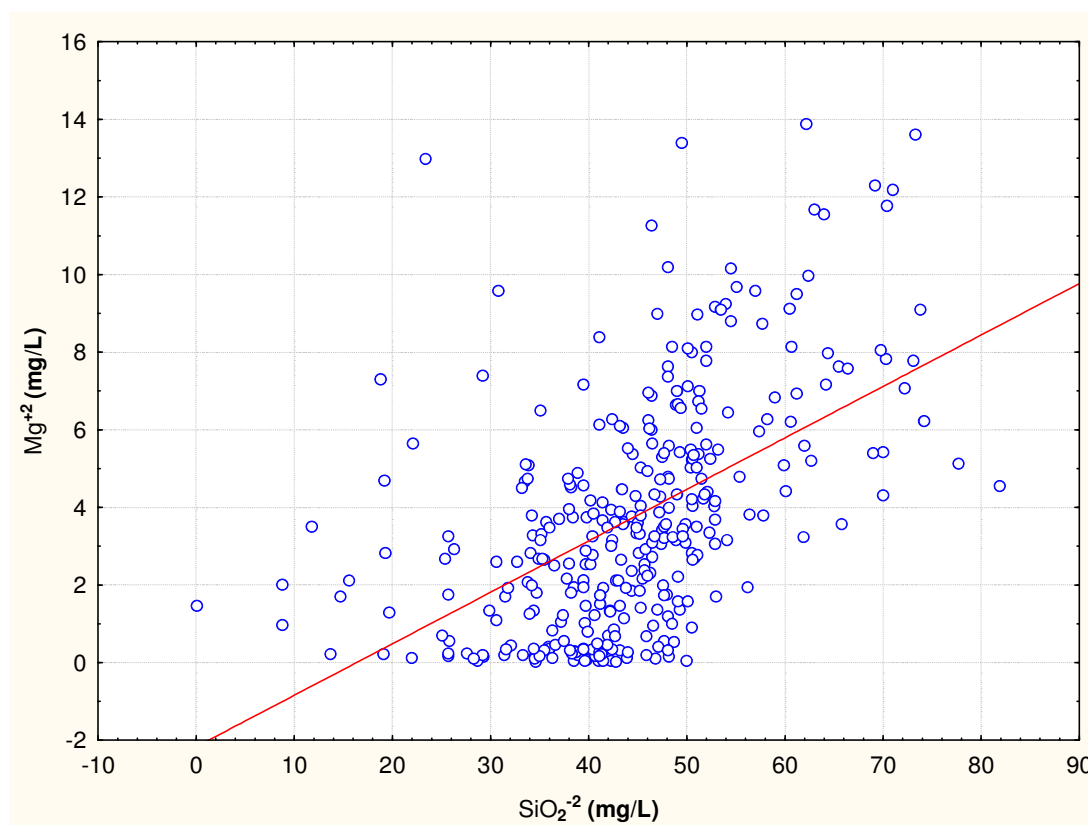


Figura 87: Correlação entre as concentrações de SiO_2 e Mg^{+2} nas águas do SASG.

A relação cloreto / somatório dos ânions sugere o intemperismo de rochas como processo atuante no quimismo e não contribuição de águas salobras.

A relação bicarbonato / somatório dos ânions indica o predomínio de processos de alteração de silicatos e carbonatos como dedução da rocha fonte dos minerais dissolvidos.

Os teores elevados de sílica dissolvida confirmam proveniência de rochas basálticas onde são abundantes os minerais silicáticos como feldspatos e piroxênios.

4.4.3.1 Relações iônicas e fluxo do aquífero

A relação bicarbonato / cloreto é útil para determinar a direção de fluxo, e distância a partir de uma determinada área de recarga. A relação diminui na direção de fluxo em função da dissolução do cloreto. Sendo assim são esperados agrupamentos de valores elevados correspondendo a áreas próximas à zona de recarga e de forma oposta, valores menores próximos a áreas de descarga, representando enriquecimento do cloreto ao longo do fluxo do aquífero.

Sobrepondo o mapa de poços com as relações químicas ao mapa potenciométrico e ao arcabouço estrutural, observam-se três grandes divisões:

- 1- O Compartimento Maringá apresenta elevadas concentrações de cloreto em suas águas o que reflete em baixos valores da relação bicarbonato / cloreto em todo compartimento. Ressalta-se que os poços com valores elevados (representando poços situados próximos à zona de recarga), situam-se nos altos potenciométricos.
- 2- Os Compartimentos Campo Mourão e Foz do Areia possuem poços com valores elevados para a relação bicarbonato / cloreto situados na borda leste da área de afloramento, com tendência de diminuição dos valores sentido oeste.
- 3- O Compartimento Foz do Iguaçu evidencia a compartimentação hidroquímica do aquífero segundo o arcabouço estrutural. Poços com valores elevados da relação bicarbonato / cloreto contrastam com os poços dos compartimentos vizinhos, que exibem características de maior tempo de transito no aquífero segundo a relação iônica utilizada.

Também corroboram esta análise os valores de STD nos poços, demonstrando enriquecimento das águas conforme o sentido de fluxo.

A Figura 88 apresenta dois mapas: distribuição espacial dos STD e o mapa com o resultado da relação iônica e a potenciometria calculada.

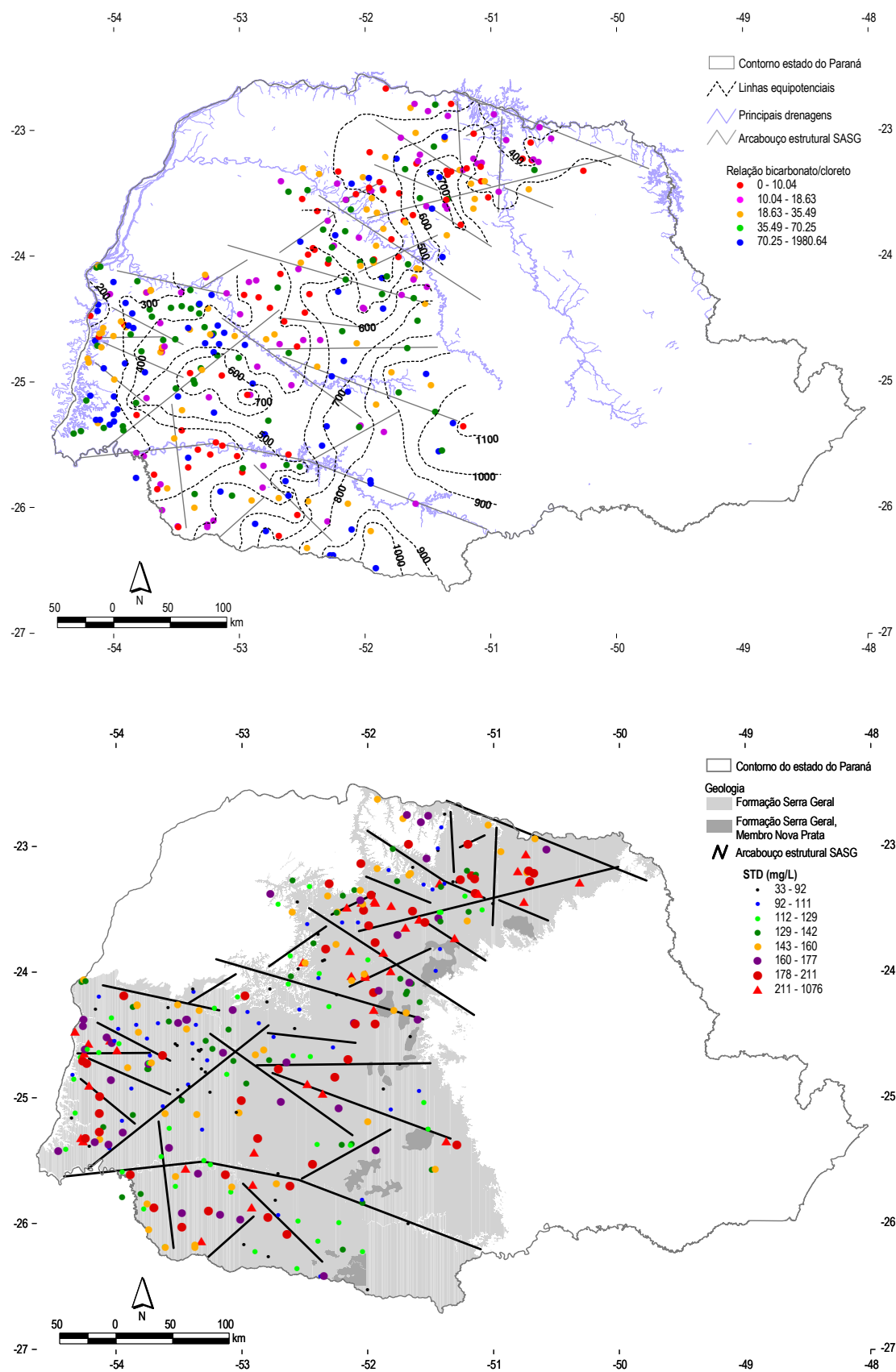
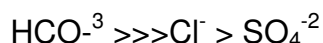
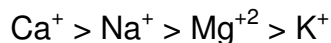


Figura 88: Distribuição espacial da relação iônica bicarbonato / cloreto (figura superior) e distribuição espacial dos sólidos totais dissolvidos (figura inferior).

4.4.4 Predomínios químicos nos Compartimentos Hidroestruturais

De maneira geral as águas do SASG apresentam as seguintes relações entre os cátions e ânions:



No Compartimento Hidroestrutural Maringá teores elevados de cálcio e magnésio associados às menores concentrações de sódio, carbonato, sulfato e pH indicam baixas profundidades de circulação e tempo de residência das águas no aquífero. A mediana da profundidade da entrada de água neste compartimento é 72 metros, com valor máximo de 182 metros. Neste compartimento ocorre o maior valor entre as medianas de STD dos compartimentos, associados a menor mediana dentre os valores de pH. Este fato pode ser explicado em função do aporte de efluentes antrópicos no aquífero, os quais aumentam a quantidade de elementos dissolvidos, mantendo o caráter mais ácido (ou menos alcalino) das águas.

Neste sentido, destaca-se a ocorrência de nitrato (maior mediana dentre os compartimentos), bem como, potássio, cloreto e fosfato, que associados corroboram a hipótese de aporte de efluentes antrópicos no aquífero (fertilizantes e/ou efluentes de esgoto). Essa associação química corrobora a afirmativa do curto tempo de residência das águas no aquífero.

A associação de elementos químicos do Compartimento Hidroestrutural Campo Mourão é bastante similar ao Compartimento Maringá, entretanto com valores menores. Destaca-se a ocorrência de carbonatos e fluoreto nas águas deste compartimento (medianas 26 e 1,4 mg L⁻¹, respectivamente). No caso do flúor, este compartimento apresenta concentrações menores apenas que o compartimento Foz do Iguaçu. A mediana da profundidade de entrada de água neste compartimento é 64 metros, com máxima de 180 metros.

No Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu os teores de sódio, sulfato, flúor e pH são os mais elevados dentre os demais compartimentos. Concentrações de cálcio, magnésio, potássio, cloreto, nitrato e fosfato neste compartimento possuem os teores mais baixos quando comparados às medianas de todo o SASG. Predominam as relações: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$, e $\text{HCO}_3^{-3} \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ neste compartimento. Esta maior concentração de sódio pode estar associada à localização deste compartimento próximo a descarga regional (fluxos de maior tempo de trânsito e profundidade). A mediana da profundidade de entrada de água é 84 metros, com valor máximo de 306 metros de profundidade.

Outra fonte de sódio pode estar associada a contribuições do SAG no quimismo do SASG mediante ascensão das águas. Ressalta-se que existem condições físicas de conectividade uma vez que a cota potenciométrica do SAG, neste compartimento, é maior que a cota do SASG. Este fato é demonstrado pela jorrância de poços que captam o SAG no compartimento.

No Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia a associação entre elementos químicos destaca os menores valores de STD dentre os compartimentos hidroestruturais. Destaca-se o íon carbonato com maior médiana neste compartimento. Alguns poços apresentam semelhança química com águas do SAG, em sua área de confinamento. Comparando as potenciometrias de cada aquífero observa-se que existe relação favorável para ascensão das águas do SAG. Este fato já foi descrito por outros autores, destacando Hindi (2007) e Souza (2005) que identificaram jorrâncias naturais do SAG na calha do rio Iguaçu, pontos situados neste compartimento hidroestrutural.

O Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia apresenta as maiores médias de entrada de água dentre os compartimentos com 90 metros. A entrada de água mais profunda apresenta 250 metros.

As Figura 89a, b e c mostra faixas de variação de concentrações de algumas espécies químicas, apresentadas em *box plots*, separadas segundo os compartimentos hidroestruturais definidos.

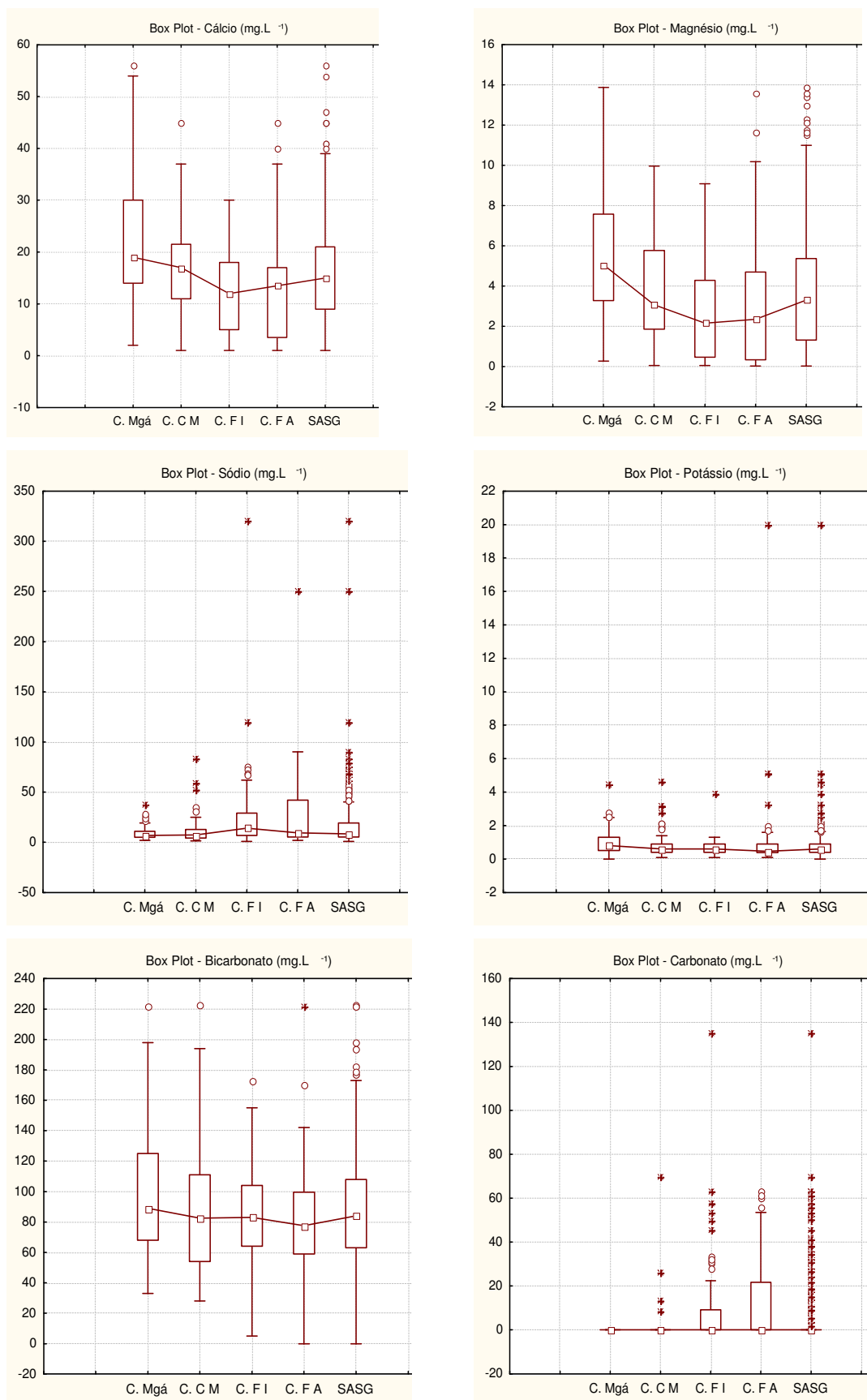


Figura 89a: Faixas de variação de concentrações físico-químicas separadas por compartimentos. Destaque para *box plot* com todas as amostras do SASG.

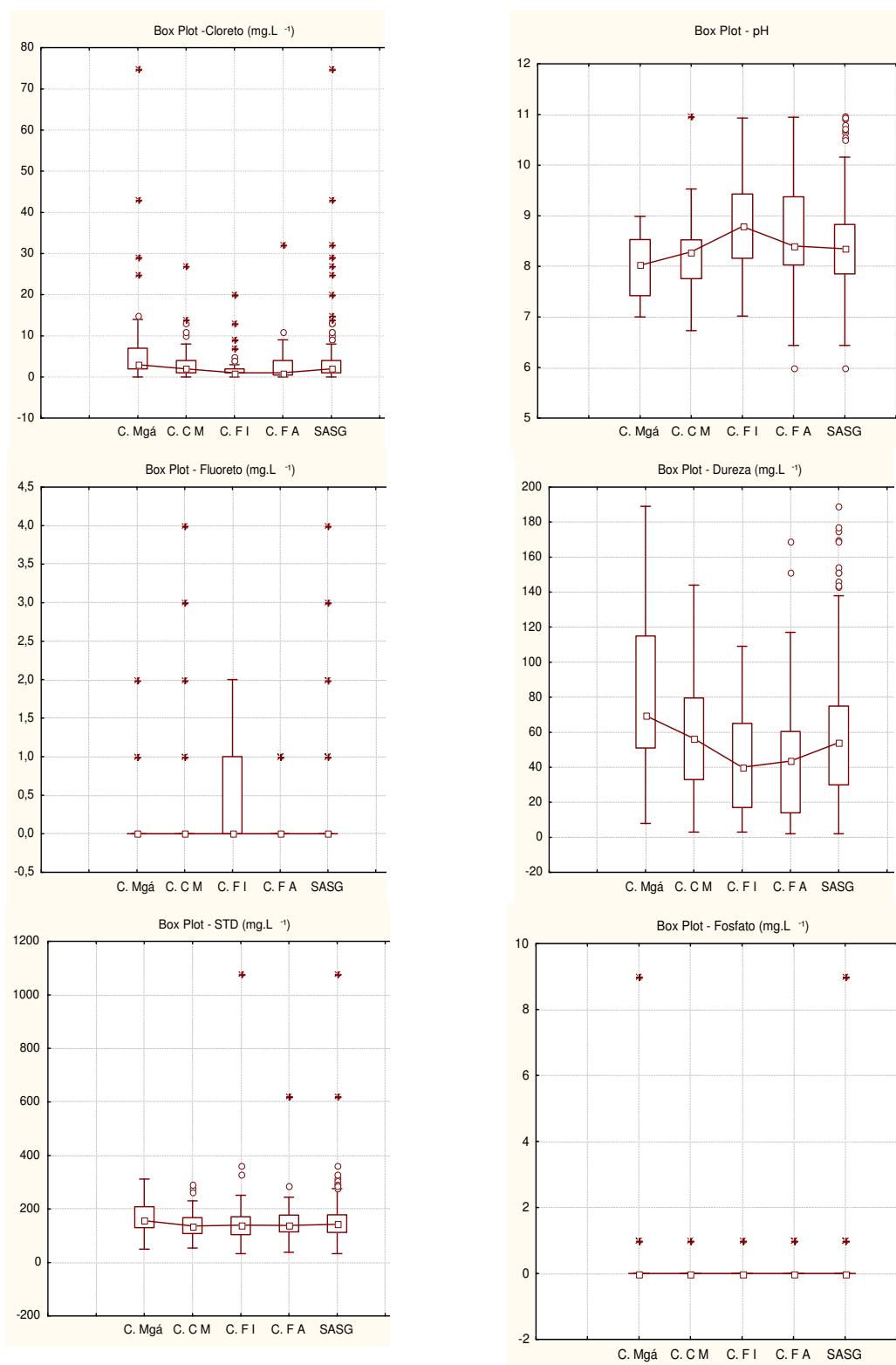


Figura 85b: Faixas de variação de concentrações físico-químicas separadas por compartimentos destaque para *box plot* com todas as amostras do SASG.

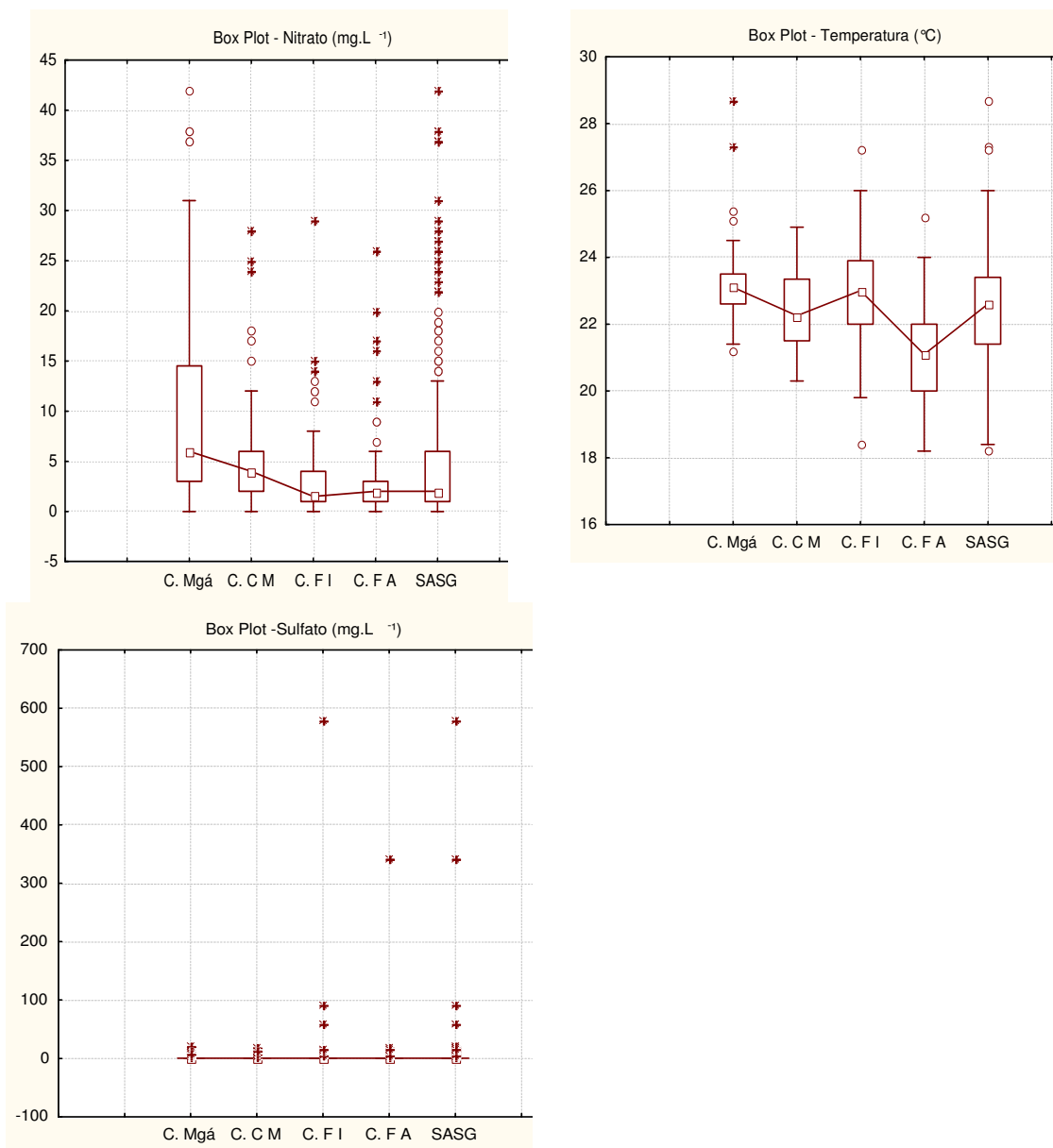


Figura 85c: Faixas de variação de concentrações físico-químicas separadas por compartimentos. Destaque para *box plot* com todas as amostras do SASG.

A distribuição espacial dos elementos analisados é apresentada em mapa, de forma sequencial, iniciando na figura 90 e finalizando na figura 104. Como mapa base é apresentado o arcabouço estrutural do SASG e a Fm. Serra Geral com a indicação de afloramento das rochas ácidas a intermediárias do membro Nova Prata, segundo MINEROPAR (2006b).

A análise da distribuição espacial do cálcio (Figura 90) permite caracterizar o Compartimento Hidroestrutural Maringá como região onde se concentram os valores anômalos. Nas águas superficiais também existe esta anomalia ao analisar os dados de Licht (2001), indicando possivelmente interação entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Valores anômalos de magnésio nas águas (Figura 91) concentram-se no Compartimento Hidroestrutural Maringá, com destaque para os poços situados junto ao Arco de Ponta Grossa. Nos outros compartimentos ocorrem valores anômalos em poços situados próximo aos lineamentos do arcabouço estrutural.

As maiores concentrações de sódio nas águas do SASG ocorrem em poços localizados no sudoeste do estado (Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia). Também ocorrem com maior frequência poços com valores anômalos de sódio no Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu (Figura 92). Cabe ressaltar a existência de poços com valores elevados nas proximidades das rochas ácidas do membro Nova Prata (Compartimentos Foz do Areia e Campo Mourão), corroborando a hipótese de interação rocha – água na fonte de sódio destas águas.

A análise da distribuição do potássio nas águas (Figura 93) destaca predomínio de valores anômalos na Província Hidroestrutural Jacutinga Noroeste, e destaque para anomalias nos poços do Compartimento Hidroestrutural Maringá. Uma faixa de direção NE-SW com poços de baixa concentração destaca-se na área do SASG. Esta região com as menores concentrações no aquífero também é similar as áreas de menores concentrações nas águas superficiais mapeadas por Licht (2001).

Valores anômalos de bicarbonato nas águas predominam no Compartimento Hidroestrutural Maringá próximos ao contato com o Aquífero Caiuá (Figura 94). Poços com concentrações anômalas de carbonato nas águas concentram-se na região do município de Marechal Cândido Rondon (Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu) e em poços situados no sudoeste do estado, no Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia (Figura 95).

A concentração de cloreto nas águas (Figura 96) destaca o Compartimento Hidroestrutural Maringá e o sudoeste do estado (Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia) como locais de maior concentração de valores anômalos. Esta anomalia também é observada nas águas superficiais, mediante análise dos dados de Licht (2001).

O sulfato apresenta maior concentração em poços do Compartimento Hidroestrutural Maringá, com destaque para os localizados próximos ao contato com o Aquífero Caiuá (Figura 97). Valores anômalos também ocorrem agrupados na região do município de Marechal Cândido Rondon (Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu).

Predominam valores anômalos de sílica dissolvida no Compartimento Hidroestrutural Maringá, com destaque para os situados sobre a região do Arco de Ponta Grossa (Figura 98).

Na região norte do Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu ocorrem agrupados poços com os maiores valores de flúor no SASG (Figura 99). Poços situados sobre uma estrutura NW, no sudoeste do estado (Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia) também apresentam valores anômalos, o que sugere controle estrutural na ocorrência destes.

A ocorrência de nitrato nas águas indica o provável aporte de efluentes antrópicos (esgotos, fertilizantes, dentre outros) no aquífero. Destaca-se o Compartimento Hidroestrutural Maringá com predomínio de poços com valores

anômalos (Figura 100). É sabido que a região deste compartimento apresenta intenso uso de fertilizantes e agroquímicos, requerendo desta maneira um estudo aprofundado sobre outros contaminantes que possam estar associados como fármacos e agroquímicos, dentre outros cuja origem seja antrópica.

A distribuição espacial do pH é apresentada na Figura 101. A análise deste mapa permite identificar um aumento gradativo dos valores em direção ao Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu e em direção aos poços da margem esquerda do rio Iguaçu no Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia. Este fato corrobora estes compartimentos como áreas de descarga de fluxos com maior tempo de transito no aquífero (fluxos mais regionais). Nos compartimentos Maringá e Campo Mourão ocorrem os menores valores de pH.

Poços com valores anômalos da dureza nas águas predominam no Compartimento Hidroestrutural Maringá, com destaque para os situados sobre a região do Arco de Ponta Grossa (Figura 102).

Valores anômalos de condutividade elétrica nas águas ocorrem em poços situados próximos aos lineamentos do arcabouço estrutural do SASG (Figura 103). Os lineamentos do arcabouço estrutural representam estruturas de grande profundidade e significado geológico (zonas de falhas, por exemplo). Tais estruturas permitem conectividade entre diferentes entradas de água no SASG ou até mesmo mistura de águas com aquíferos sotopostos como o SAG, cujas águas possuem em sua área de confinamento valores de condutividade acima de 1500 μ /S.

Poços com valores anômalos de temperatura predominam no norte do Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu, norte do Compartimento Hidroestrutural Maringá e junto ao rio Ivaí no limite entre os compartimentos Campo Mourão e Maringá (Figura 104). Da mesma maneira que comentado com a condutividade elétrica, a ocorrência de poços alinhados (caso dos situados junto ao rio Ivaí) corrobora a hipótese de mistura de águas e conectividade SASG – SAG, uma vez que as águas do SAG apresentam temperaturas de até 65°C na região do estado do Paraná.

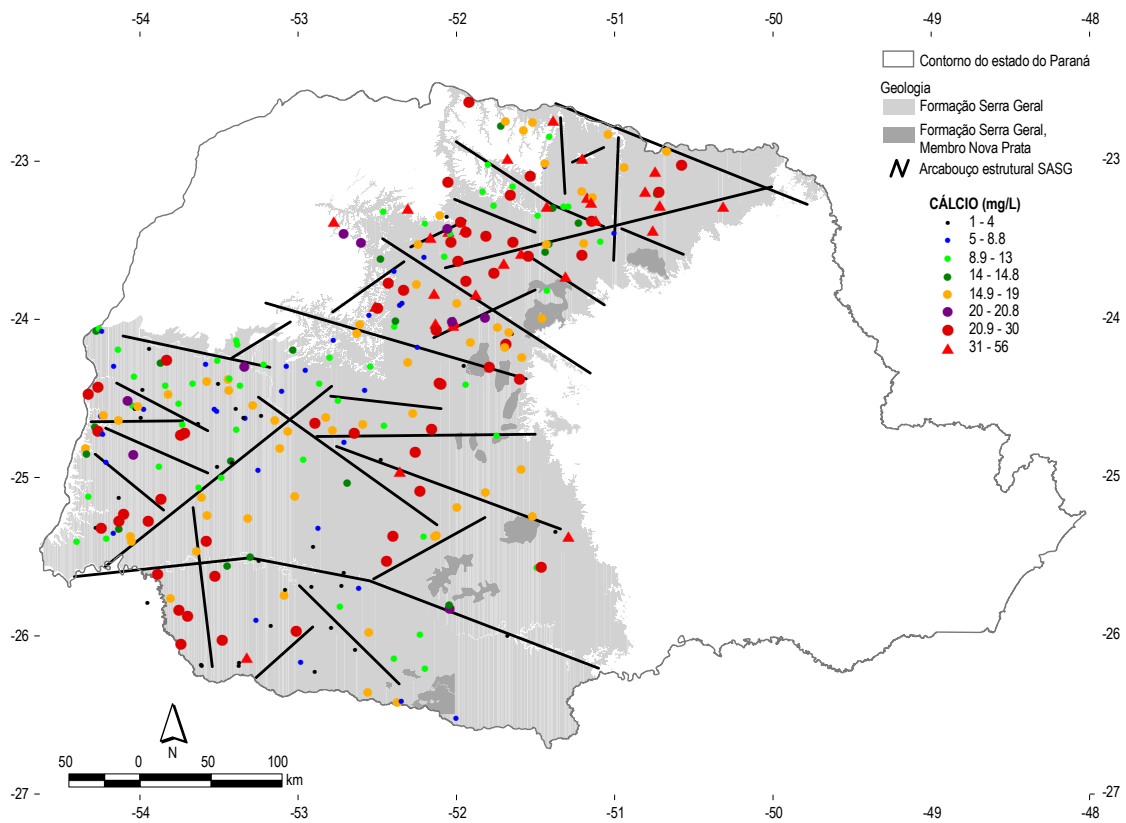


Figura 90: Distribuição espacial do cálcio.

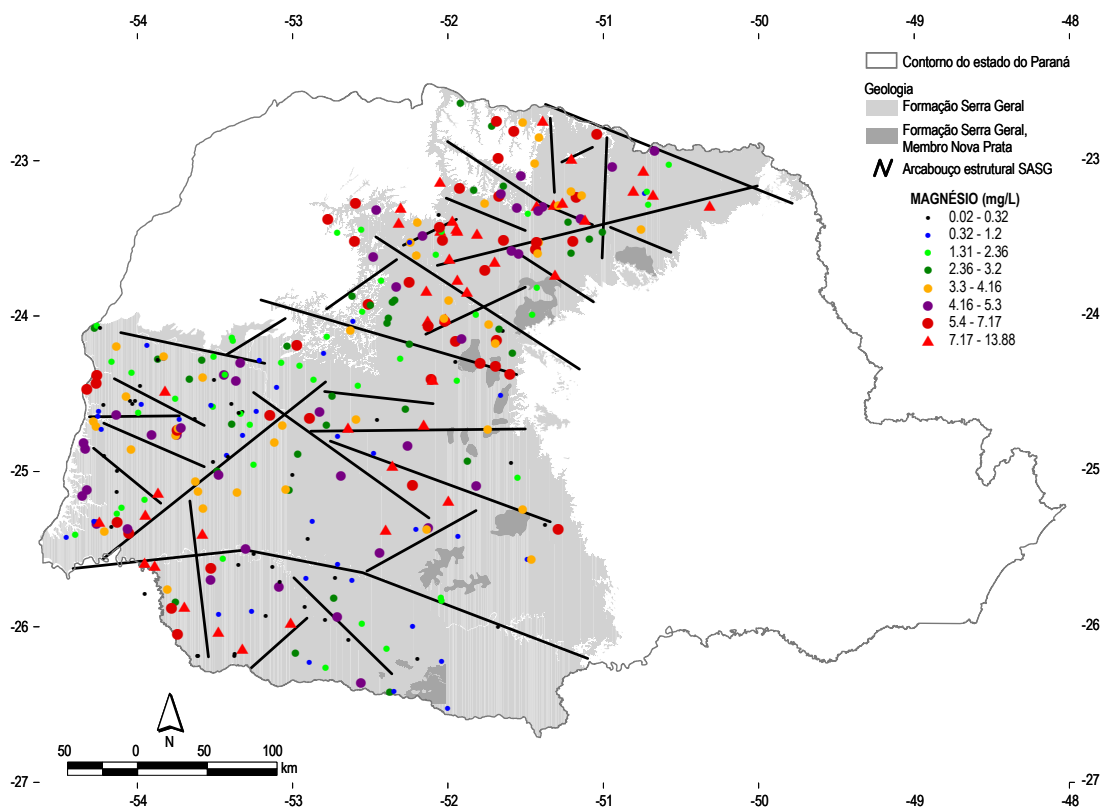


Figura 91: Distribuição espacial do magnésio.

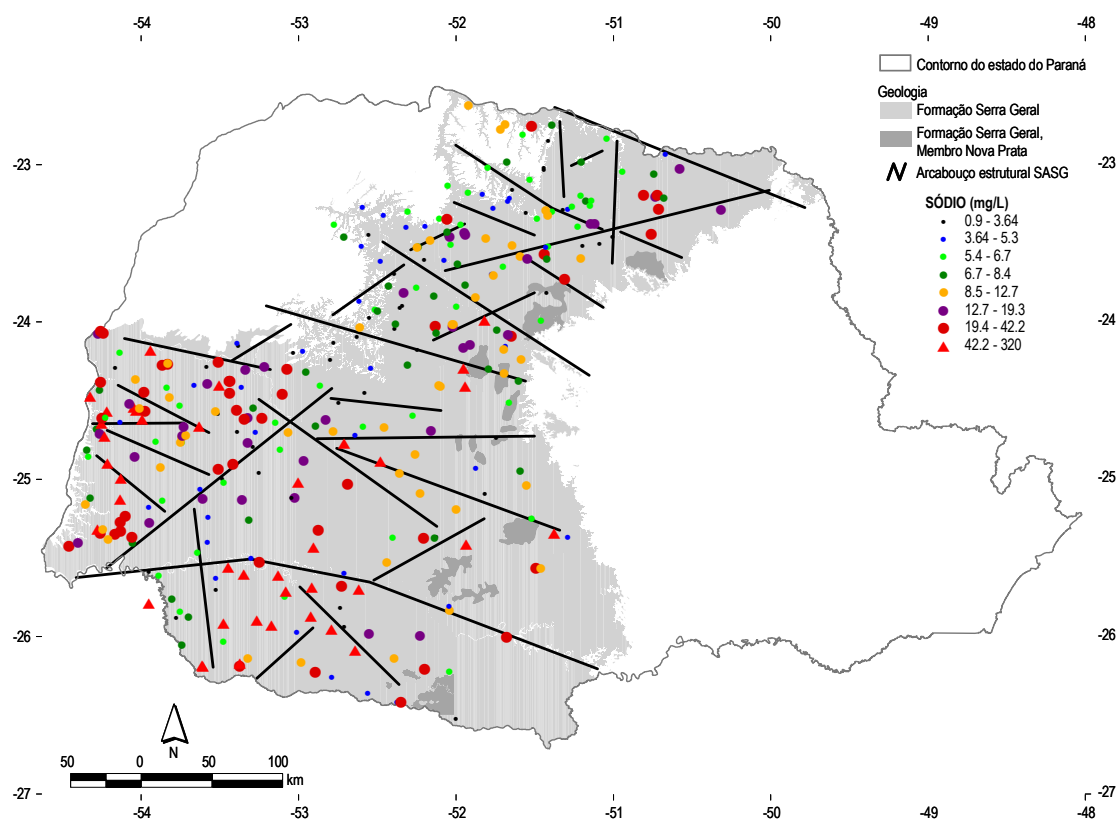


Figura 92: Distribuição espacial do sódio.

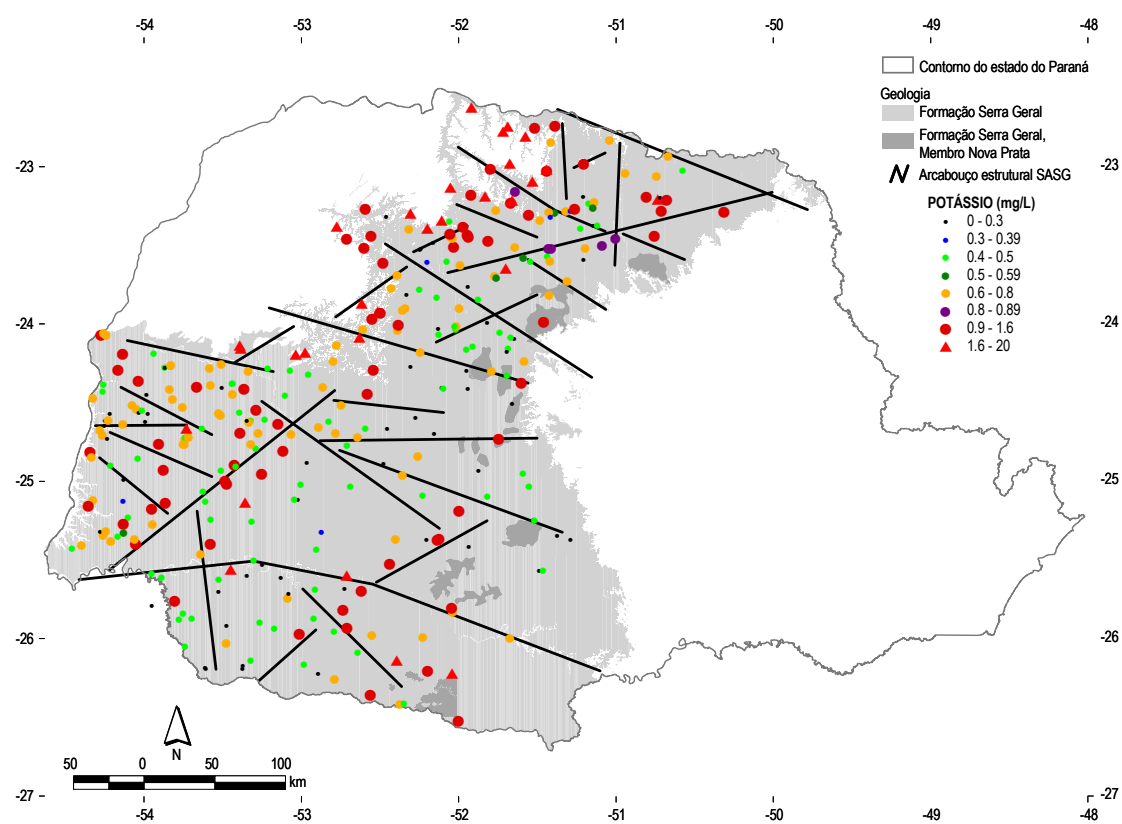


Figura 93: Distribuição espacial do potássio.

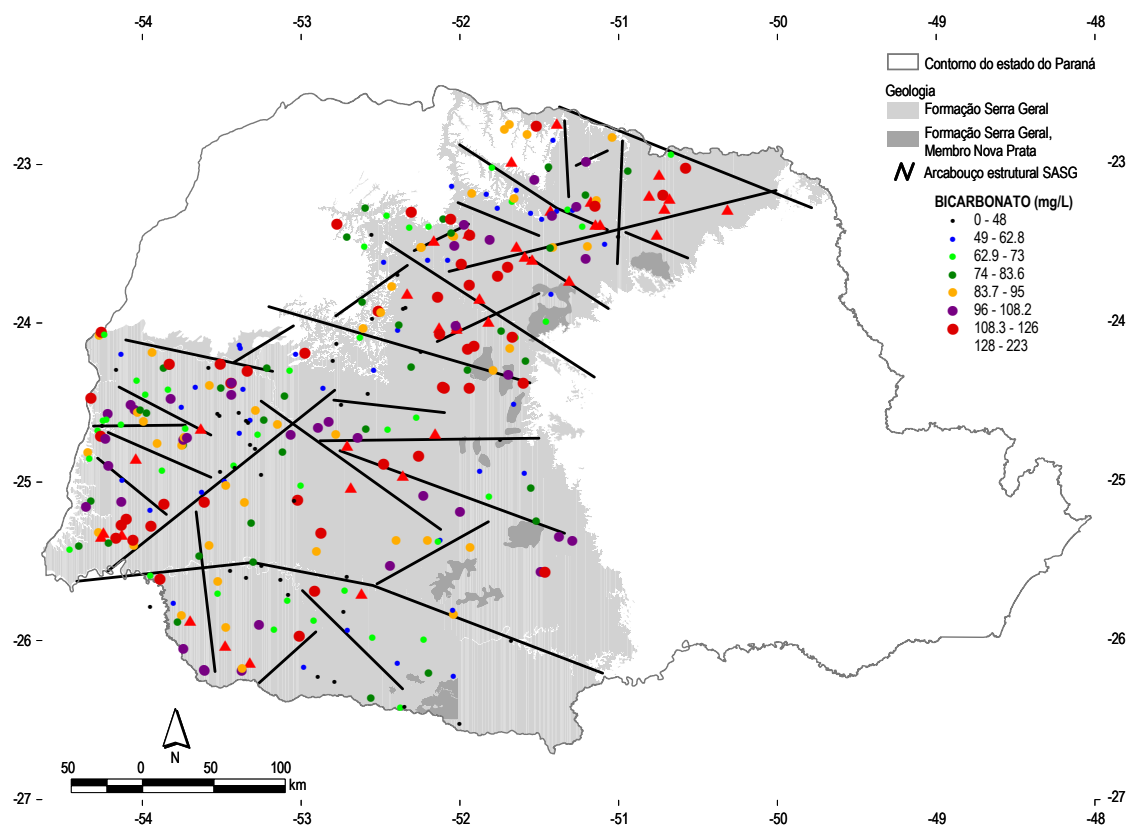


Figura 94: Distribuição espacial do bicarbonato.

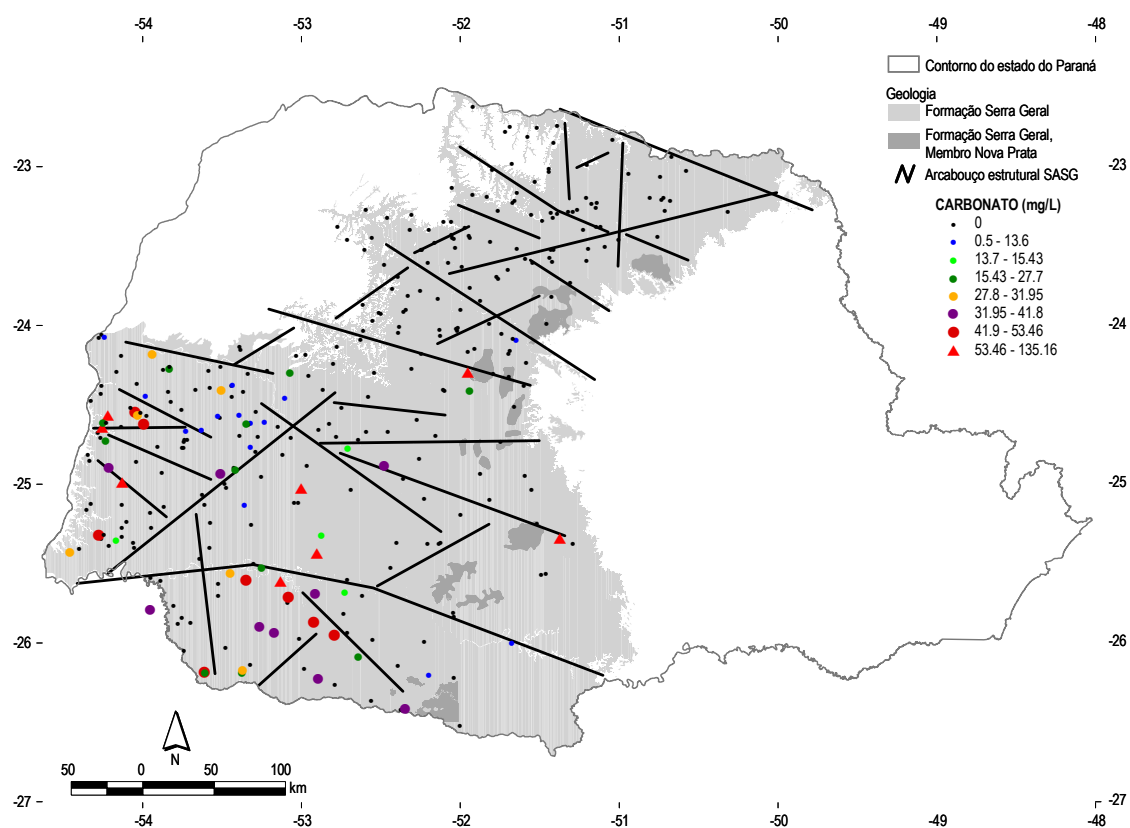


Figura 95: Distribuição espacial do carbonato.

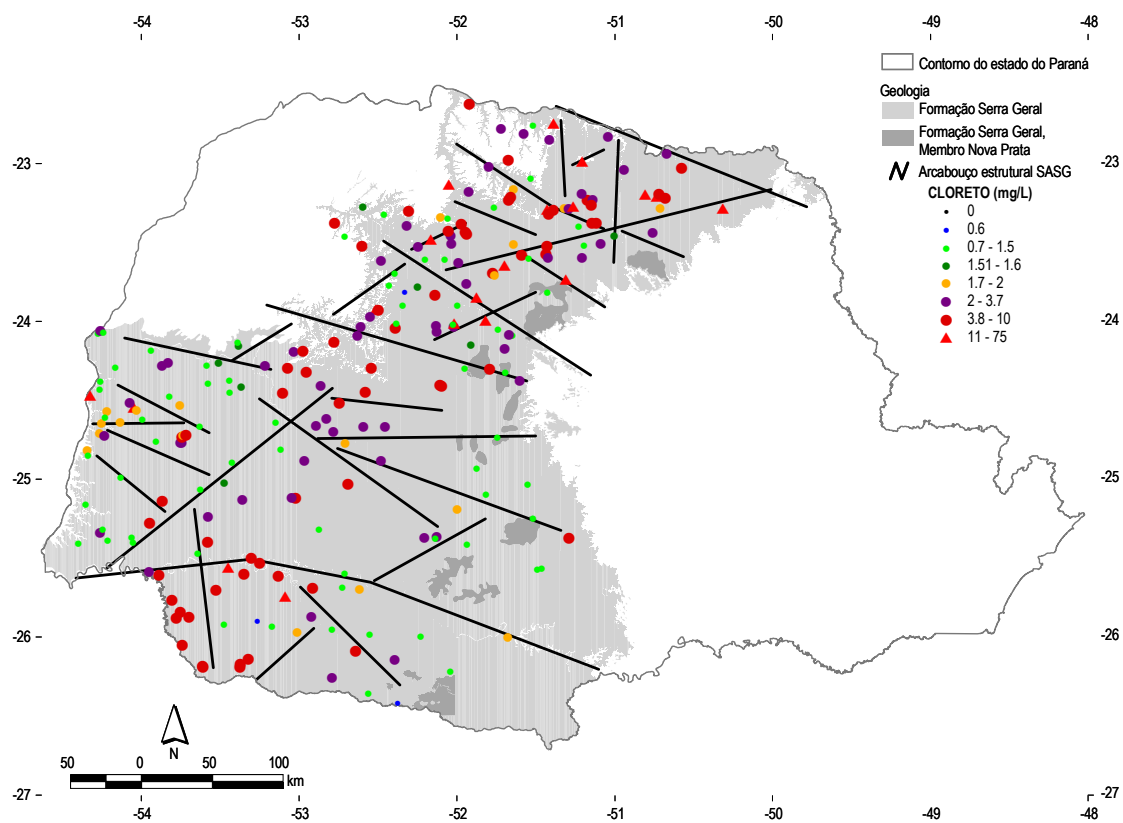


Figura 96: Distribuição espacial do cloreto.

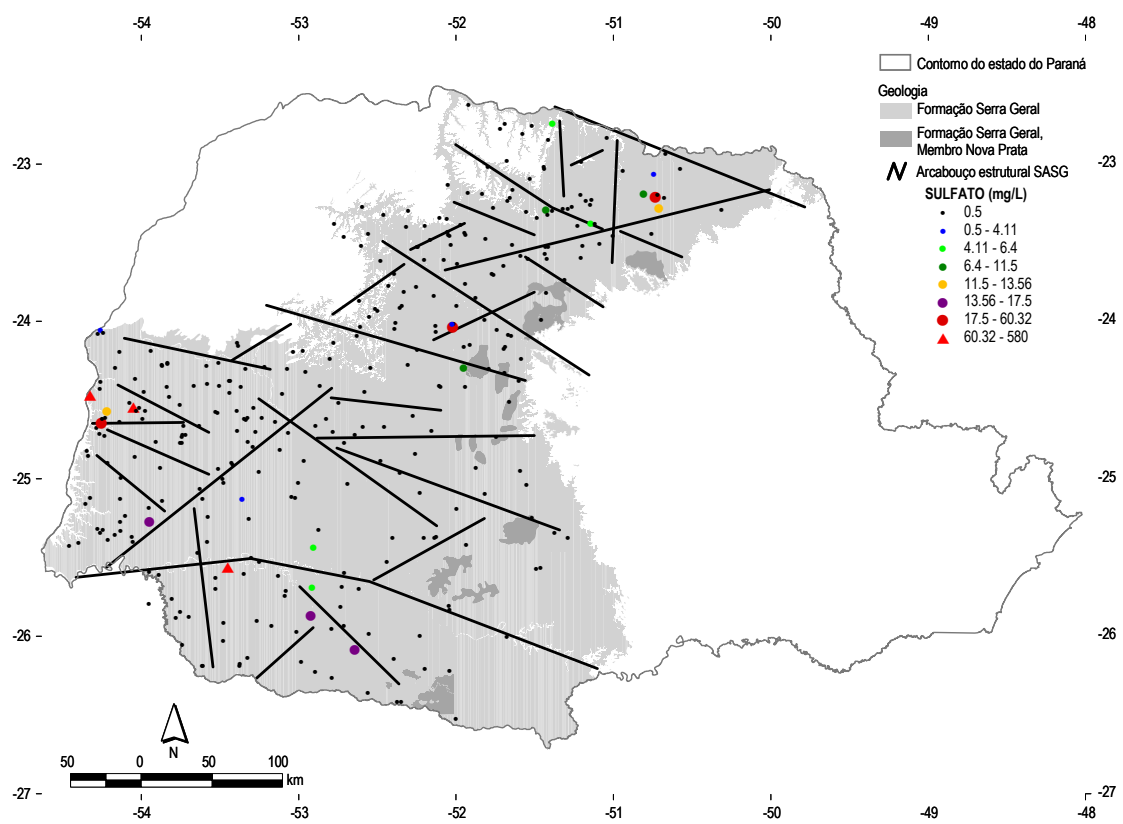


Figura 97: Distribuição espacial do sulfato.

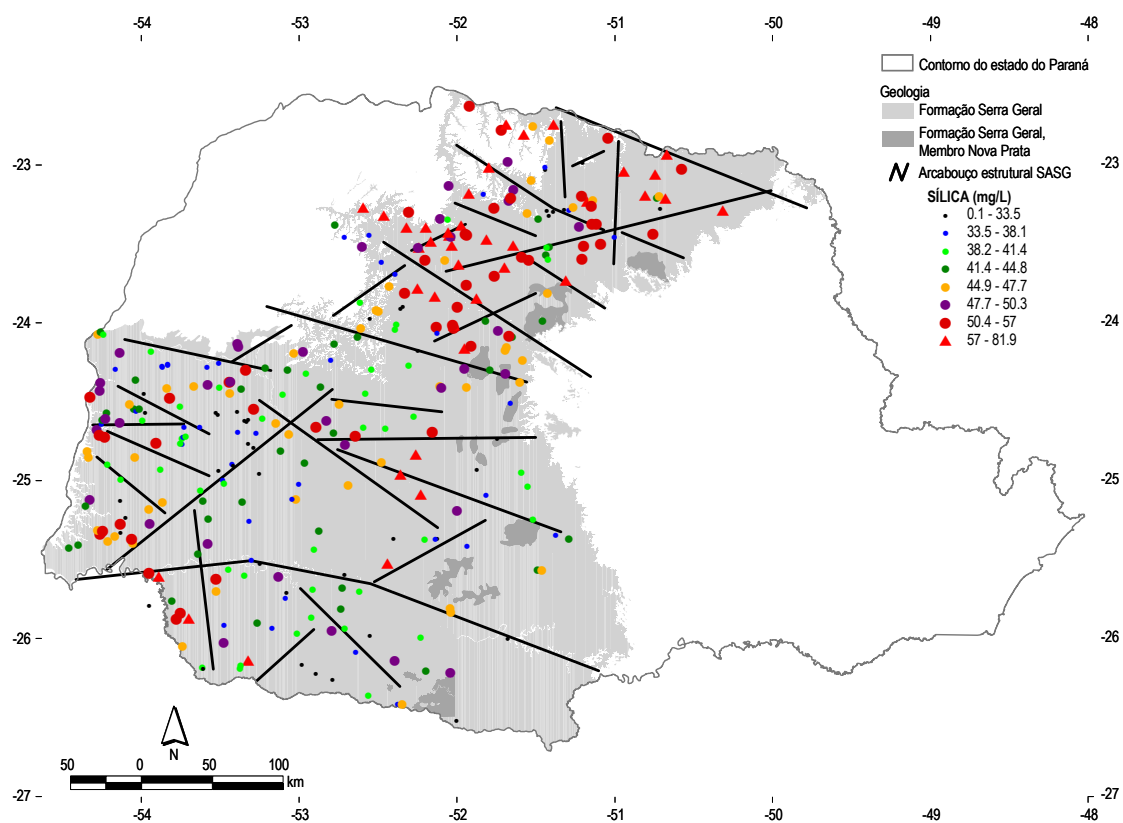


Figura 98: Distribuição espacial da sílica.

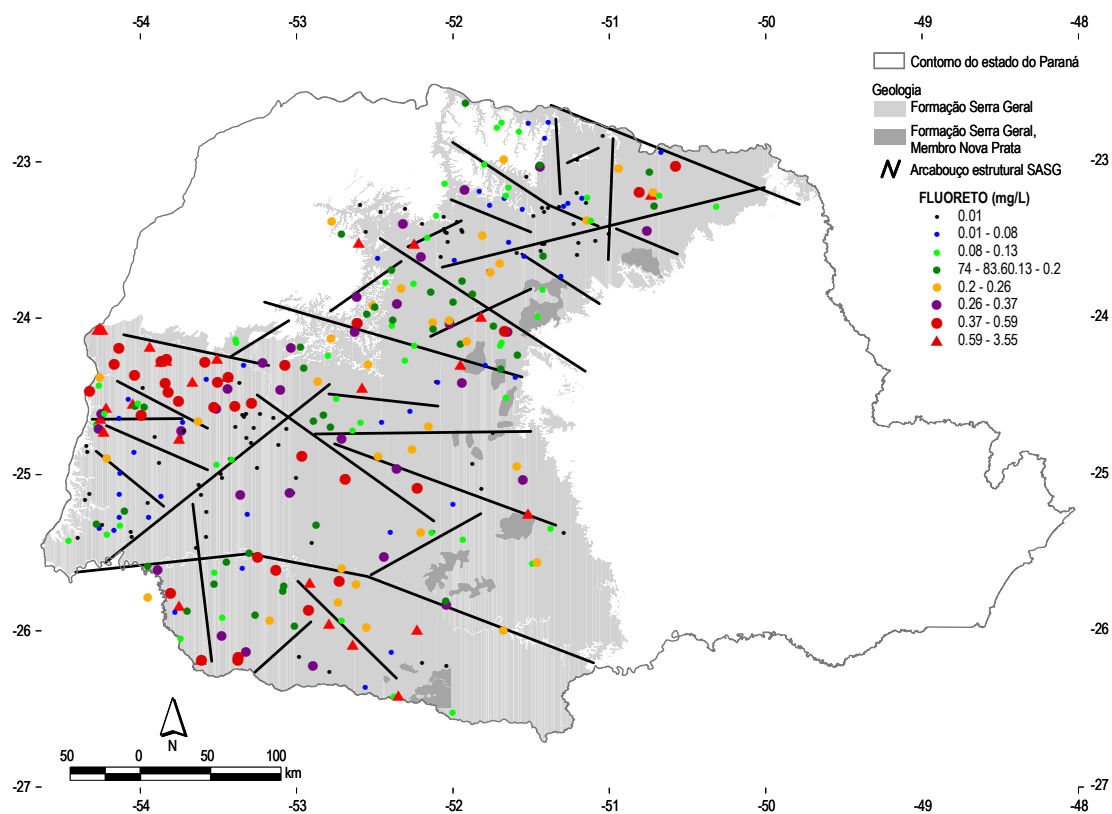


Figura 99: Distribuição espacial do fluoreto.

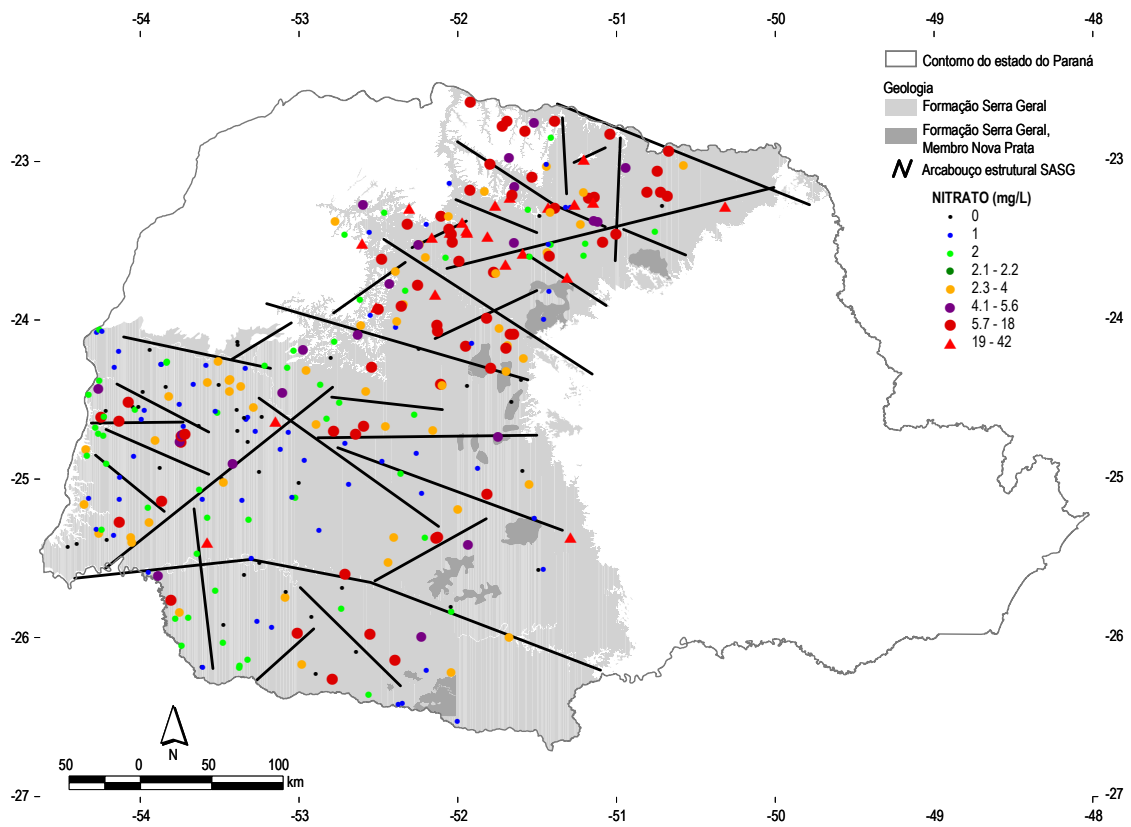


Figura 100: Distribuição espacial do nitrato.

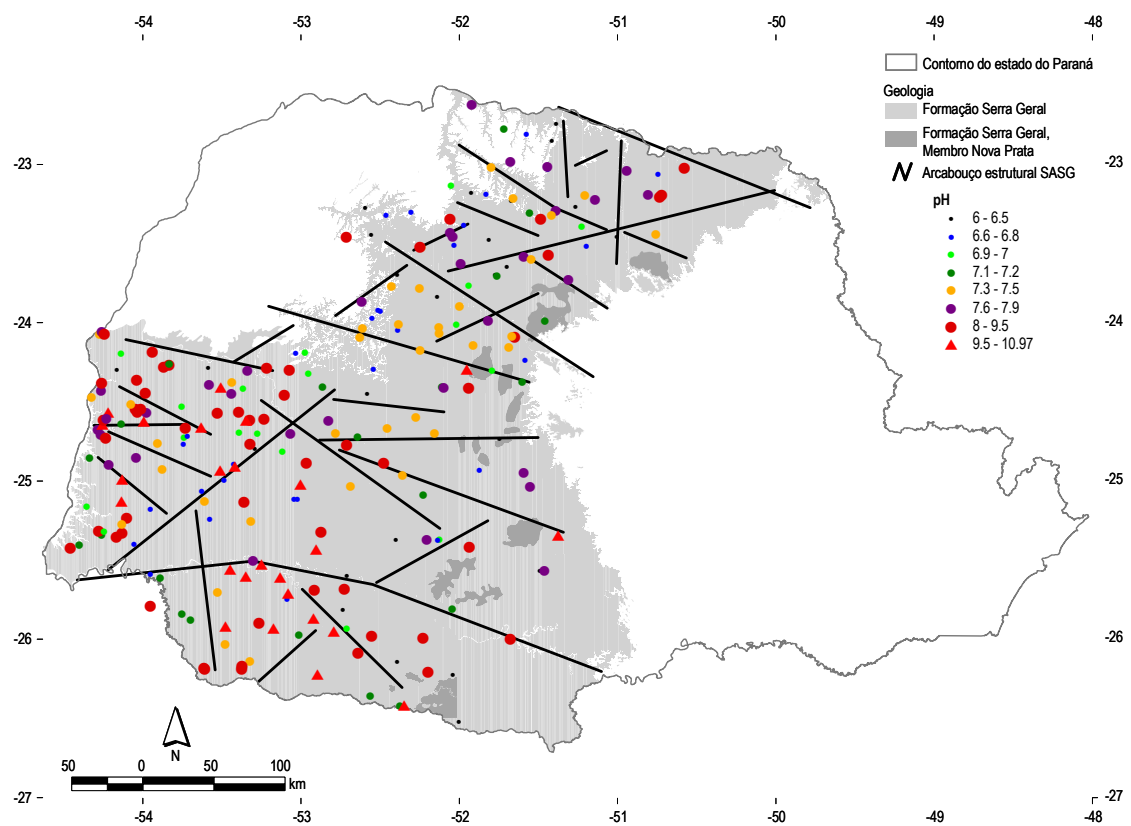


Figura 101: Distribuição espacial do pH.

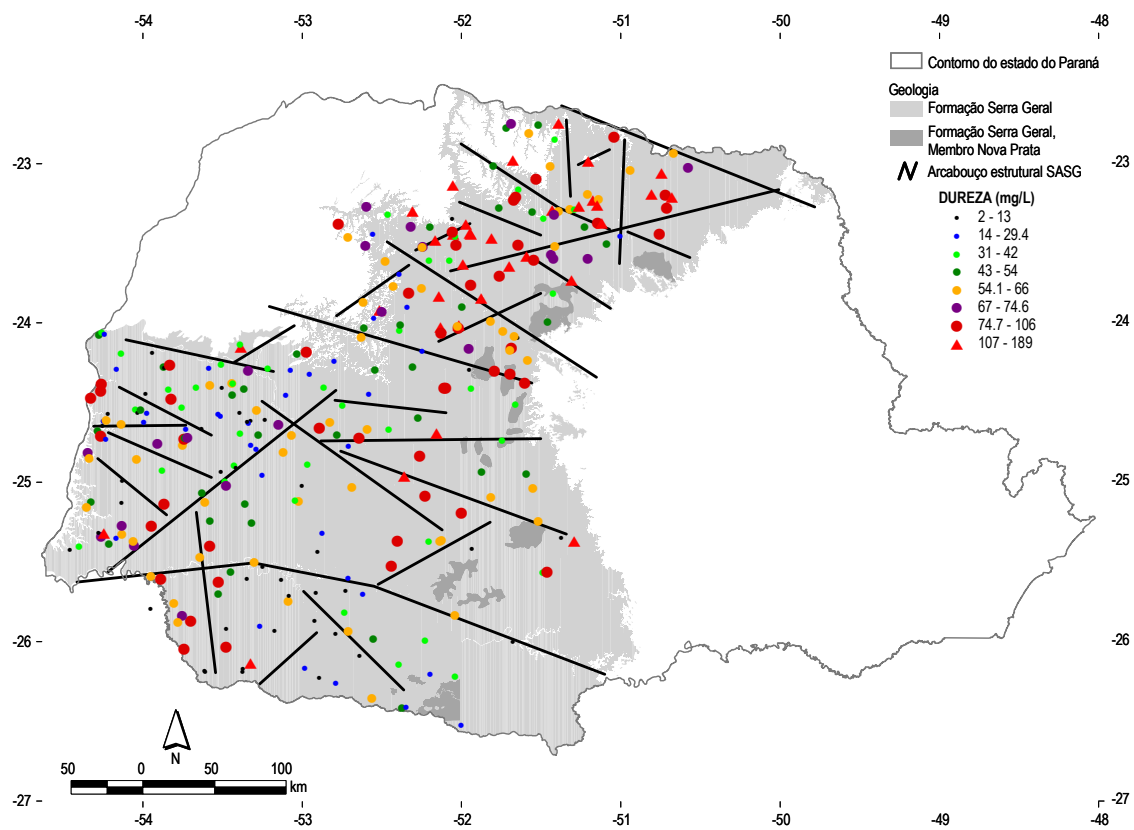


Figura 102: Distribuição espacial da dureza.

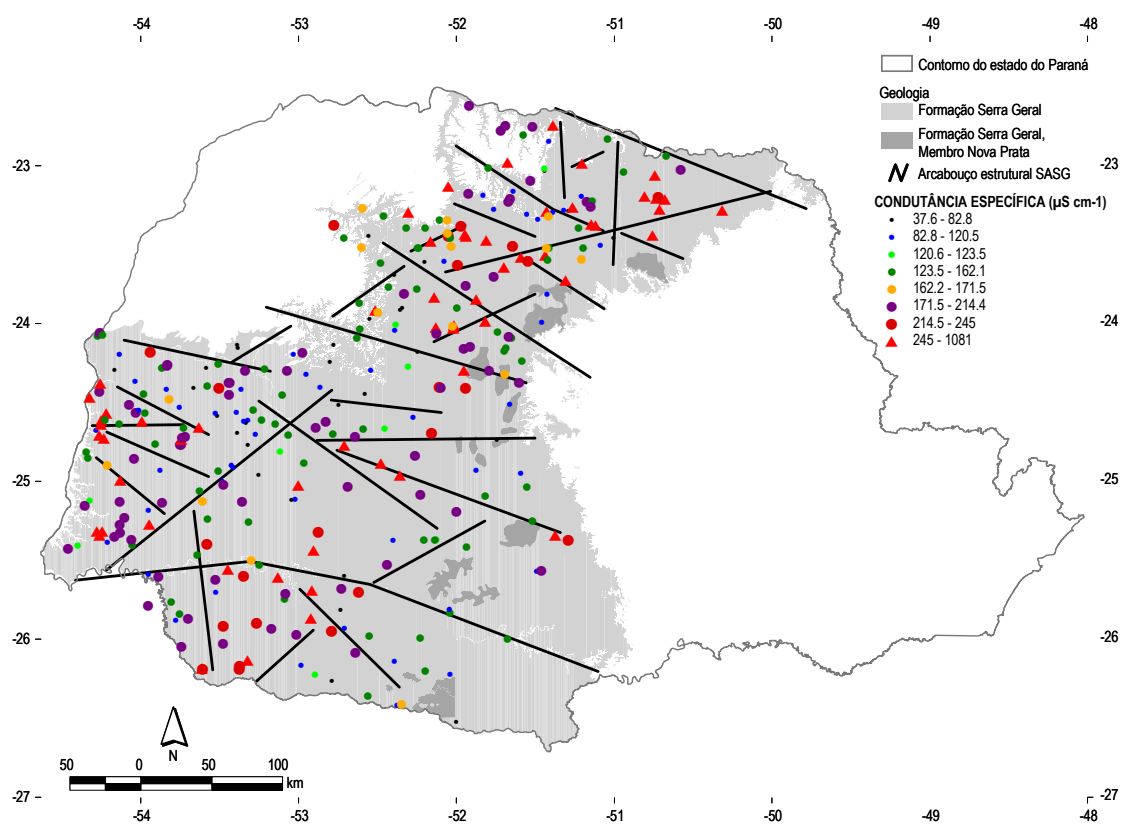


Figura 103: Distribuição espacial do condutividade elétrica.

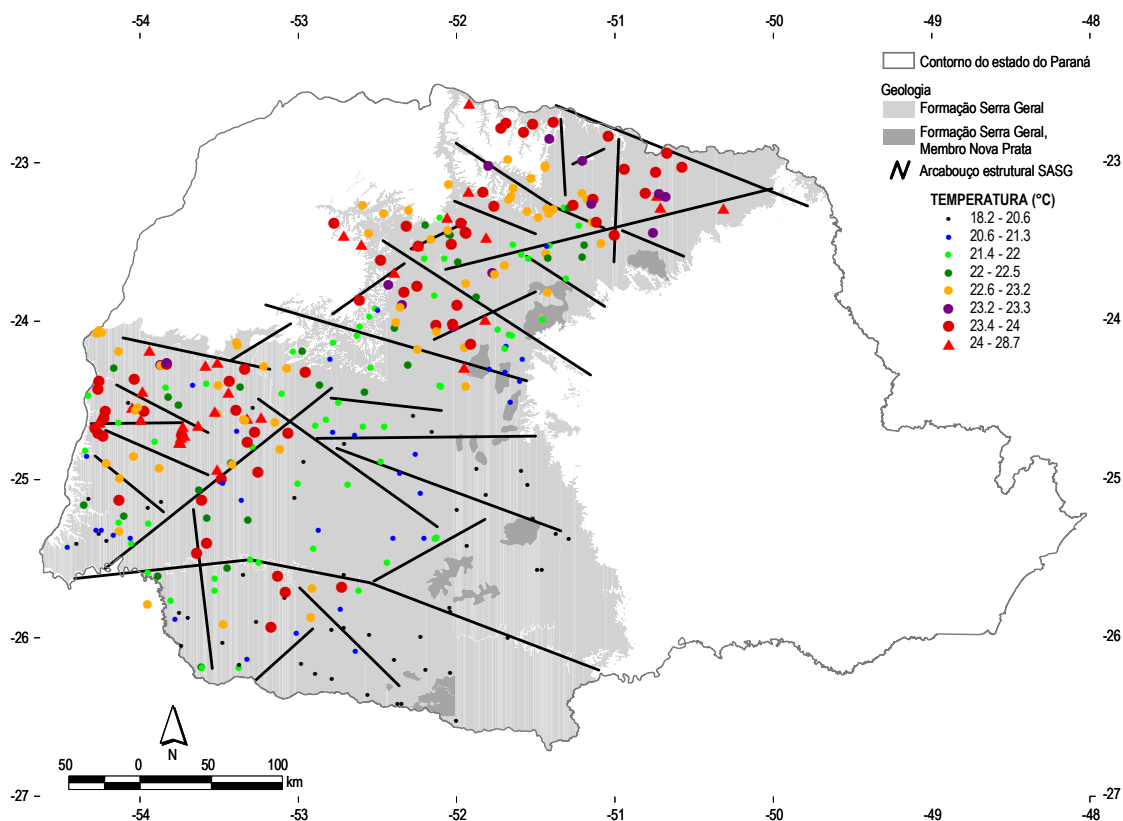


Figura 104: Distribuição espacial da temperatura

4.4.5 Aptidão das águas *in natura* para consumo humano

Dentre os poços analisados nesta pesquisa, observam-se ocorrências de teores acima dos máximos permitidos em 48 poços, quando comparados os resultados analíticos e os valores orientadores (Brasil, 2011 e Brasil, 2008). Os íons analisados cujos teores restringem à utilização das águas *in natura* são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Íons com concentrações acima dos VMP.

Parâmetro	Número de poços com teores acima do VMP
Sódio	2
Sulfato	2
Fluoreto	6
STD	1
pH	36
Nitrato	1

Nos poços onde os teores são acima dos VMP, pode-se interpretar que no entorno imediato, as áreas não são aptas à utilização das águas *in natura*.

Na Figura 105 é apresentada uma integração dos poços cujos teores estão acima dos VMP.

O SASG possui excelente qualidade química para consumo *in natura*. Grande parte das restrições químicas (36 casos em 48) estão associados ao pH, parâmetro facilmente corrigido com processos químicos simplificados, necessários à distribuição desta água para abastecimento.

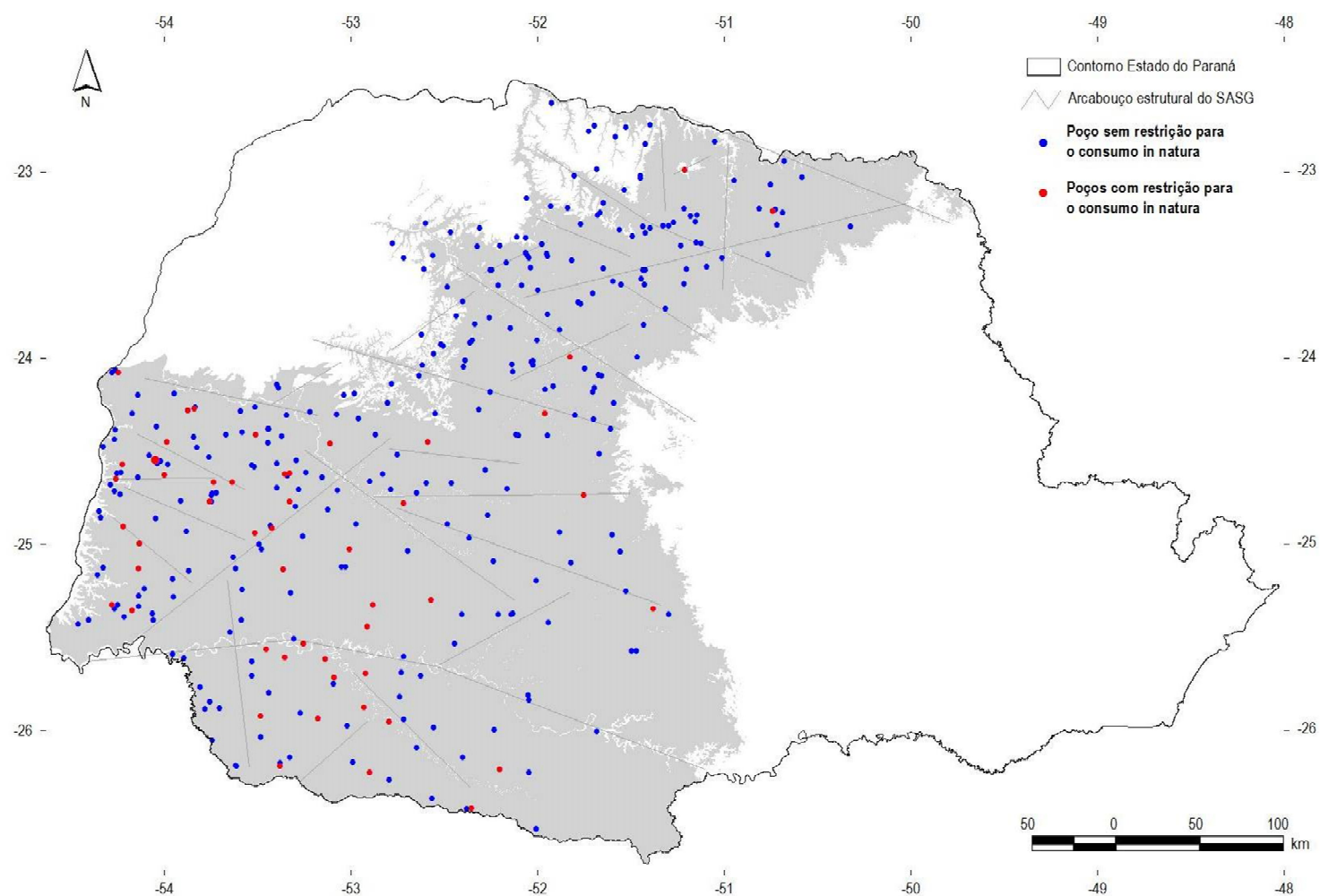


Figura 105: Mapa integrado com a localização dos poços com teores acima dos VMP's.

4.4.6 Aptidão das águas do SASG para irrigação

Quando analisadas pelo método SAR (*sodium adsorption ratio*), de maneira geral, as águas do SASG podem ser utilizadas para irrigação. Na Figura 106 foram plotadas em quatro gráficos as 337 amostras do SASG. Não foi possível plotar todos os dados em um só gráfico em função de limitações do programa utilizado. Os gráficos superiores e o gráfico inferior (esquerda) possuem 100 amostras cada, e o gráfico inferior (direita), possui 37 amostras.

Na Tabela 14, observa-se a classificação das 337 amostras do Sistema Aquífero Serra Geral.

Tabela 14: Classificação das águas para irrigação no SASG.

Classificação	Nº	%	Classificação	Nº	%
C0-S1	51	15,1%	C3-S1	0	0%
C0-S2	0	0%	C3-S2	0	0%
C0-S3	0	0%	C3-S3	1	0,3%
C0-S4	0	0%	C3-S4	2	0,6%
C1-S1	217	64,4%	C4-S1	0	0%
C1-S2	11	3,3%	C4-S2	0	0%
C1-S3	1	0,3%	C4-S3	0	0%
C1-S4	0	0%	C4-S4	0	0%
C2-S1	41	12,2%	C5-S1	0	0%
C2-S2	5	1,5%	C5-S2	0	0%
C2-S3	7	2,1%	C5-S3	0	0%
C2-S4	1	0,3%	C5-S4	0	0%

Segundo esta metodologia, observa-se que das 337 amostras analisadas do SASG, três merecem uma maior atenção por possuírem qualidades impróprias para irrigação.

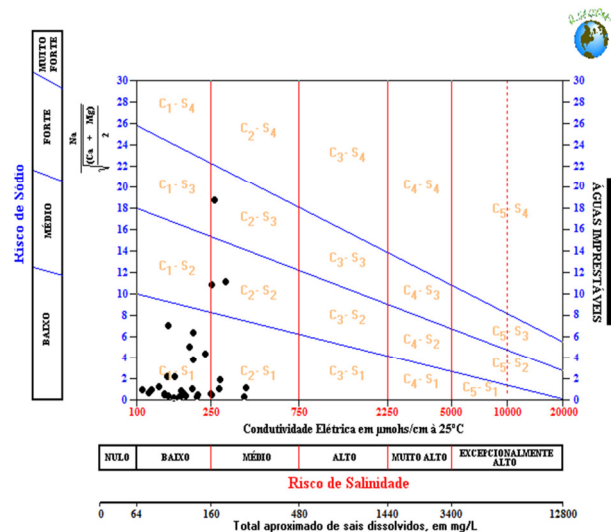
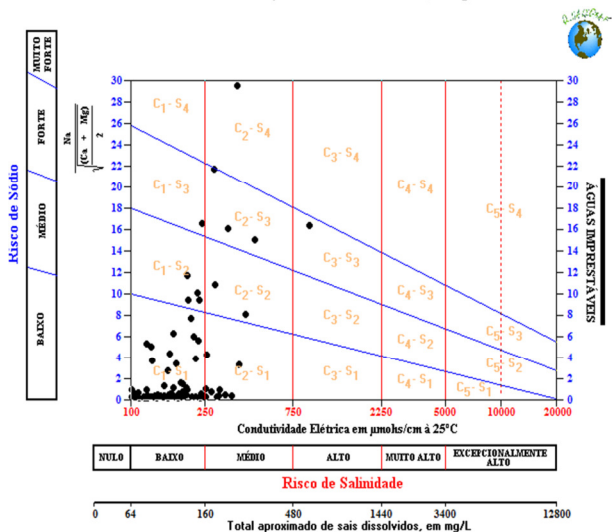
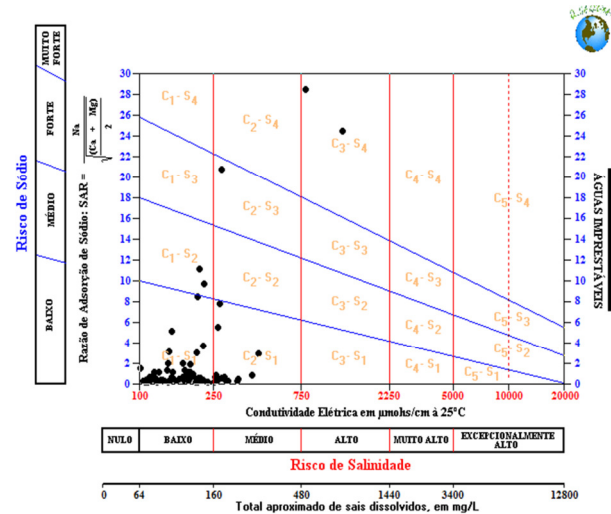
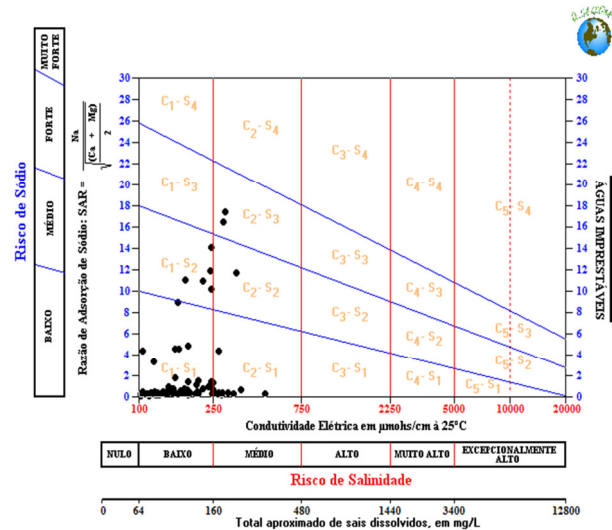


Figura 106: Classificação das águas para irrigação no SASG.

Analisando o risco de salinidade das águas observa-se que três amostras possuem risco alto à salinidade (Tabela 15).

Tabela 15: Classificação em relação à salinidade.

Classificação	Risco	Nº	%
C0	Nulo	51	15,1%
C1	Baixo	229	67,9%
C2	Médio	54	16,0%
C3	Alto	3	0,9%
C4	Muito alto	0	0%
C5	Excepcionalmente alto	0	0%

Com relação ao risco de sódio verifica-se que 12 amostras apresentaram risco forte a muito forte (Tabela 16).

Tabela 16: Classificação em relação ao risco de sódio.

Classificação	Risco	Nº	%
S1	Baixo	309	91,7%
S2	Médio	16	4,8%
S3	Forte	9	2,7%
S4	Muito forte	3	0,9%

A localização dos poços com restrição a irrigação é apresentada em mapa (em vermelho) na Figura 107.

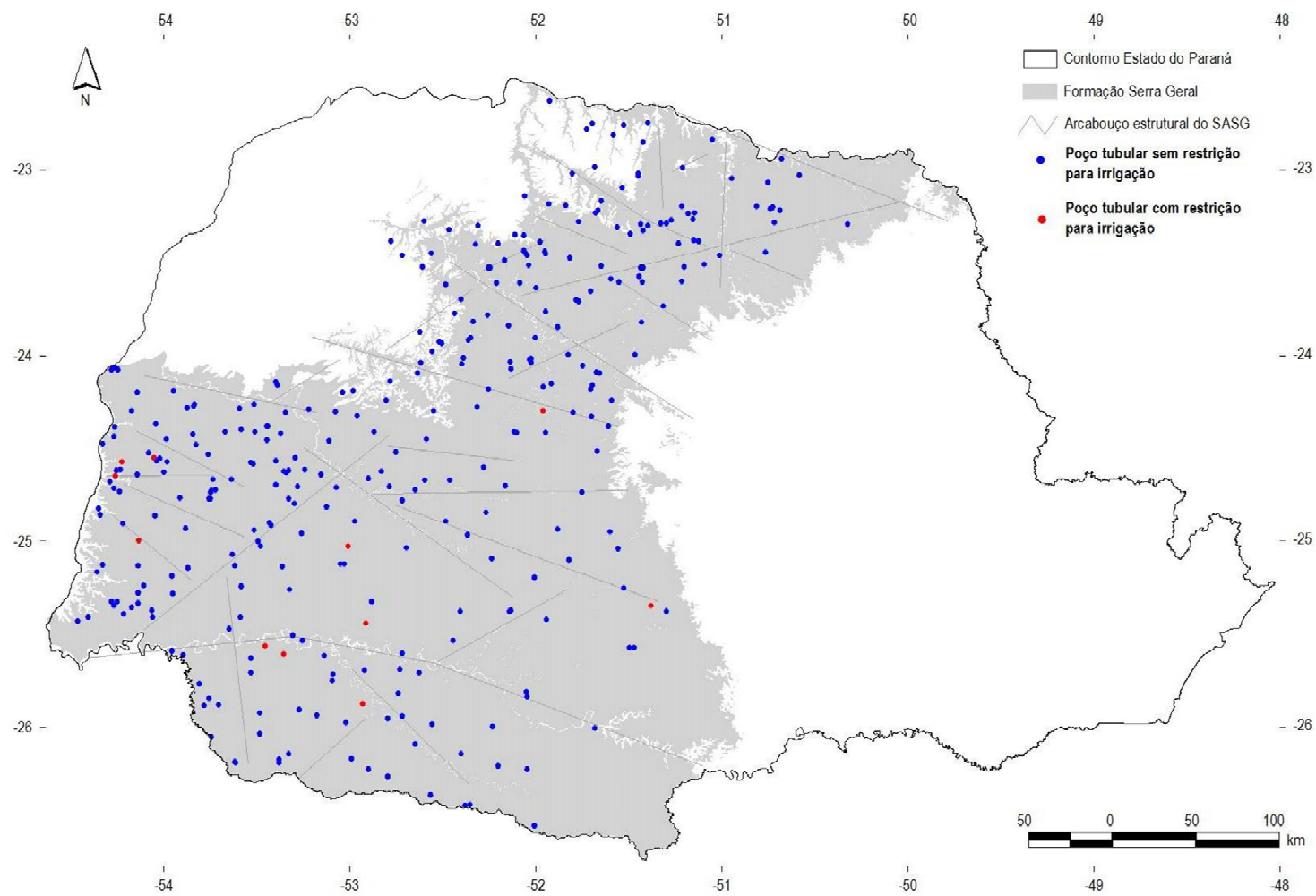


Figura 107: Espacialização dos dados do diagrama de SAR para o SASG.

4.4.7 A questão da mistura de águas com o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná

A integração dos dados físico-químicos e potenciométricos de ambos os sistemas aquíferos, SASG e SAG, em território paranaense, é apresentada com objetivo de identificar áreas no SASG onde predominam poços com quimismo diferente do tipo químico predominante das águas.

Pressupõe-se que a mistura de águas está condicionada pela ocorrência de estruturas tectônicas que possibilitem a conectividade estrutural entre os aquíferos, ou pelo contato lateral entre ambos em zonas de falhas.

4.4.7.1 Relações potenciométricas regionais

São conhecidos inúmeros casos de jorrância nos poços que captam o SAG, em áreas onde o litotipo aflorante é a Fm. Serra Geral. Estes casos demonstram que existe a possibilidade física de mistura de águas entre o SASG e o SAG em função das diferentes cargas hidráulicas.

Para verificar as relações potenciométricas entre os dois aquíferos foram elaborados perfis esquemáticos regionais. A Figura 108 destaca a localização dos três perfis elaborados.

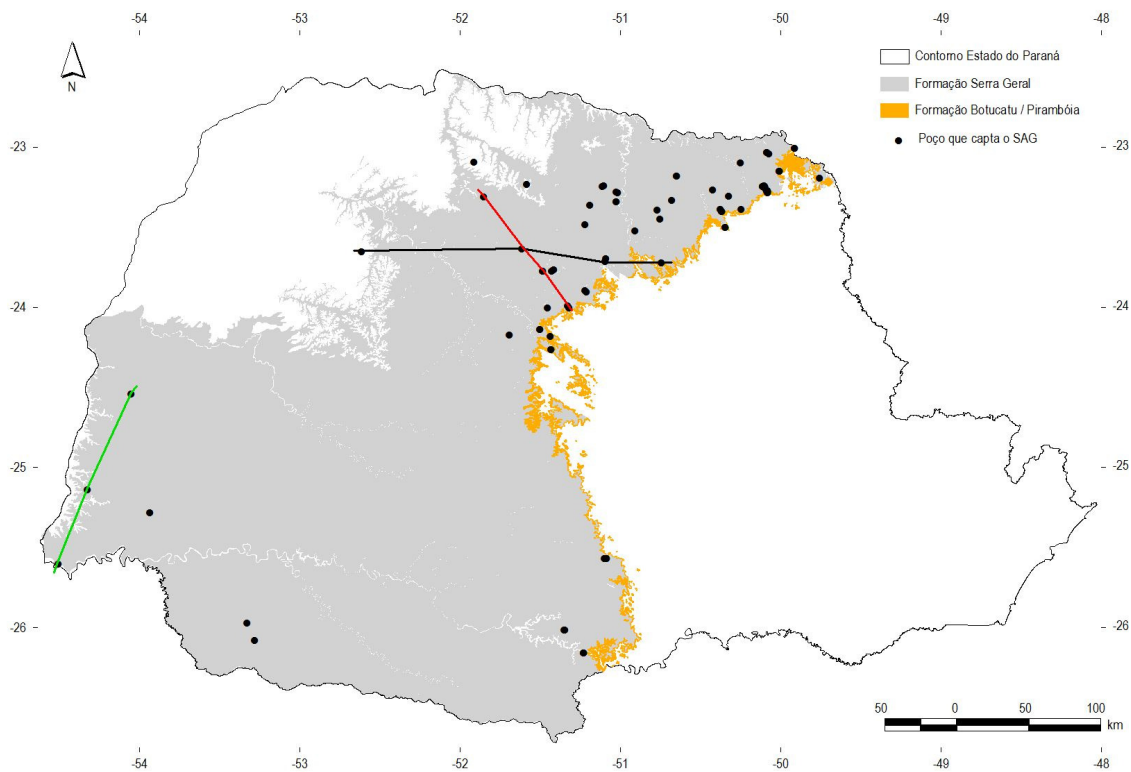


Figura 108: Localização dos perfis hidrogeológicos esquemáticos.

O perfil apresentado na Figura 109, representado em vermelho na Figura 108, foi elaborado com os dados dos poços tubulares que captam o SAG nos municípios de Faxinal, Novo Itacolomi, Jandaia do Sul, Maringá e Santa Fé (Hindi, 2007).

Destacam-se as diferentes profundidades do topo do SAG, indicando a ocorrência de falhas com rejeitos da ordem de 964 metros entre poços distantes 110 quilômetros. Esta geometria permite também a mistura de águas por contato lateral entre o SASG e SAG, fato que pode explicar a jorrancia existente na região do município de Maringá e limítrofes.

Os poços de Jandaia do Sul e Novo Itacolomi exemplificam o reflexo da compartimentação estrutural do SAG. Eles indicam as diferenças de profundidades do topo do SAG (477 metros) e do nível estático, em distâncias inferiores a 20 quilômetros.

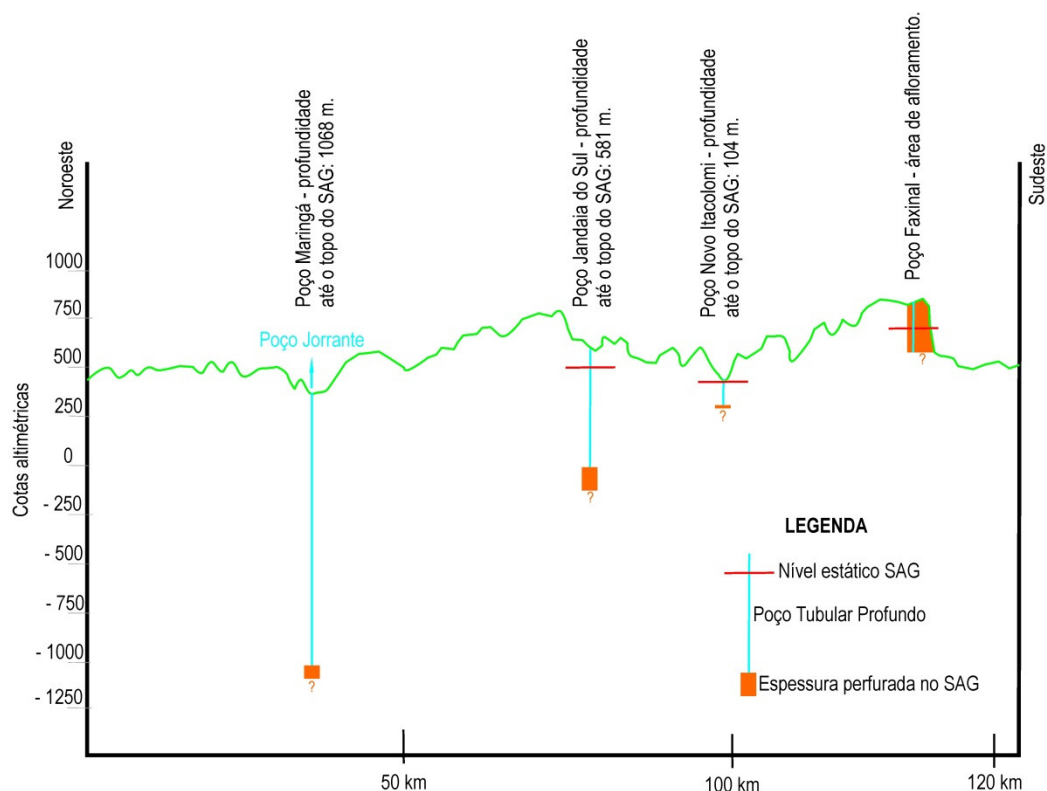


Figura 109: Perfil hidrogeológico esquemático, linha vermelha na Figura 108.

A análise do perfil com direção leste – oeste, apresentado na Figura 110, permite identificar que o Rio Ivaí está “encaixado” em uma zona de falha geológica, a qual apresenta rejeitos de até 900 metros, em distâncias inferiores a 100 quilômetros. Isso pode ser observado considerando as diferentes cotas do topo do SAG (poços: Cianorte e Jandaia do Sul). Nesta mesma região, a cota do nível estático do SAG está também acima da superfície do terreno.

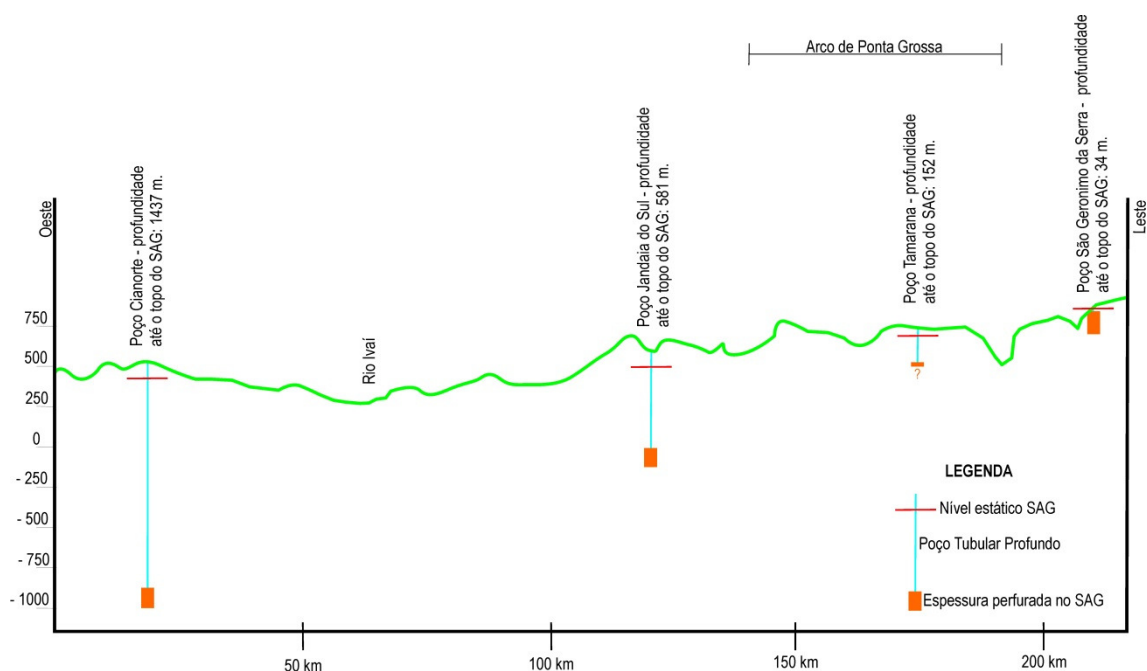


Figura 110: Perfil hidrogeológico esquemático, (linha preta na Figura 108).

A Figura 111 apresenta um perfil na região oeste do Estado do Paraná elaborado por Athayde (2007; inédito), com direção norte sul, considerando os poços situados nos municípios de Marechal Cândido Rondon, Itaipulândia e Foz do Iguaçu (linha verde na Figura 108). Destaca-se a ocorrência de jorrância no poço tubular de Foz do Iguaçu, aproveitado inclusive para fins de turismo termal.

As relações potenciométricas entre o SASG e SAG na região oeste paranaense caracterizam a possibilidade de mistura de águas, principalmente em cotas inferiores a 300 m.s.n.m, corroborando sugestão de Athayde (2007) para mistura de águas entre os aquíferos na região do município de Marechal Cândido Rondon - PR.

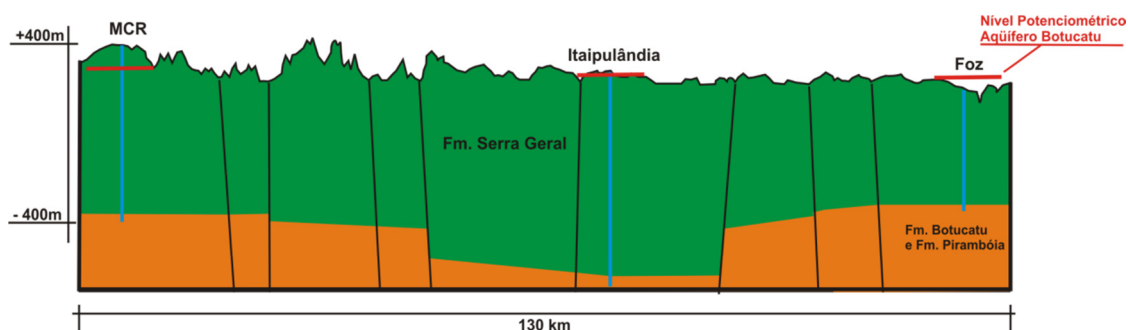


Figura 111: Perfil hidrogeológico esquemático, linha verde na Figura 108.

4.4.7.2 Localização e quimismo dos poços com possibilidade física de mistura de águas

O primeiro passo para seleção dos poços tubulares foi identificar a médiana da profundidade da cota do nível estático do SASG, a qual é 450 metros sobre o nível do mar (m.s.n.m.).

Para fins de correlação potenciométrica entre os aquíferos considerou-se nesta pesquisa a cota potenciométrica do SAG de 400 m.s.n.m. Tal valor baseou-se na isolinha do SAG traçada por Hindi (2007), mais próxima à médiana do nível estático do SASG calculada.

Foi utilizada a cota do nível estático 400 m.s.n.m. nos poços que captam o SASG, e selecionados aqueles com relação potenciométrica favorável a mistura de águas (nível do SAG acima do nível do SASG).

A Figura 112 apresenta os poços do SASG que possuem nível estático com cota inferior a 400 metros. Nesta figura é indicada em tracejado vermelho a projeção da altitude 400 m.s.n.m. do nível estático do SAG, proposto por Hindi (2007).

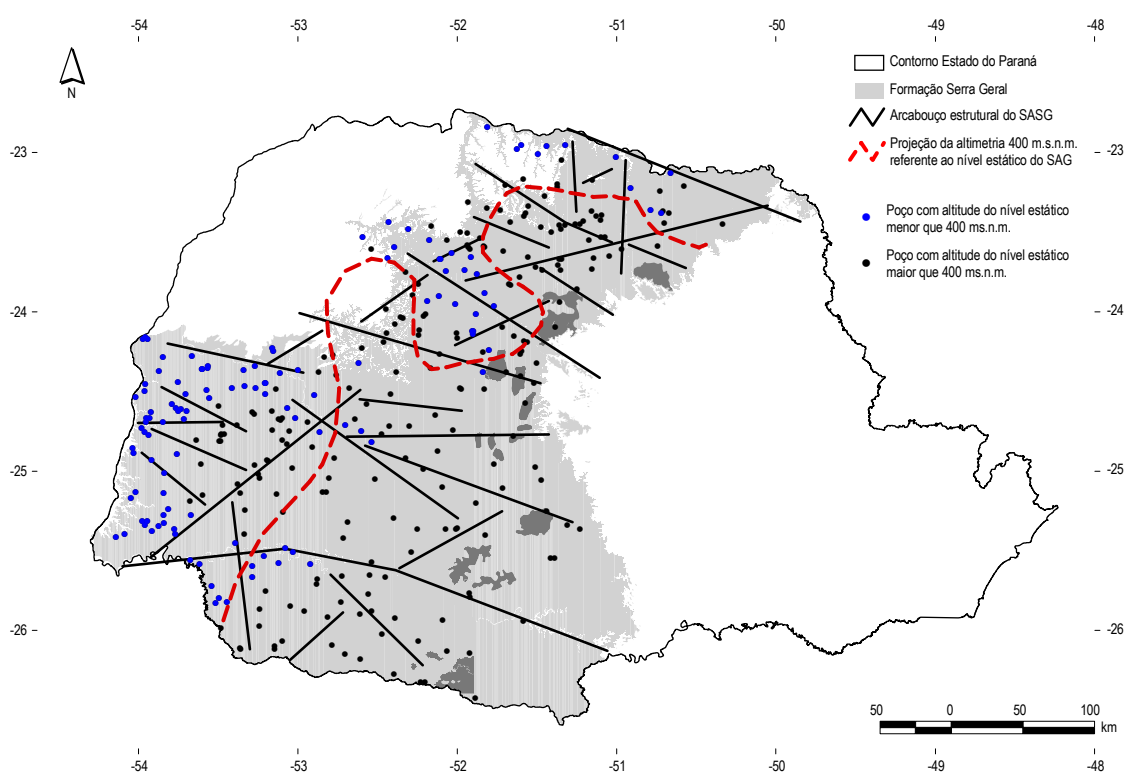


Figura 112: Poços que captam o SASG e possuem cota altimétrica do nível estático inferior a 400 m.s.n.m. Em vermelho, a cota 400 metros referente a potencimetria virtual do SAG proposta por Hindi (2007).

A Figura 113 apresenta os poços selecionados, classificados em dois tipos principais de água: bicarbonatadas cálcicas e outros tipos classificados. Estes últimos, característicos por apresentarem enriquecimento de sódio, cloreto, sulfato, carbonato, pH e aumento da temperatura das águas, ao compara-los com a média de todo o SASG.

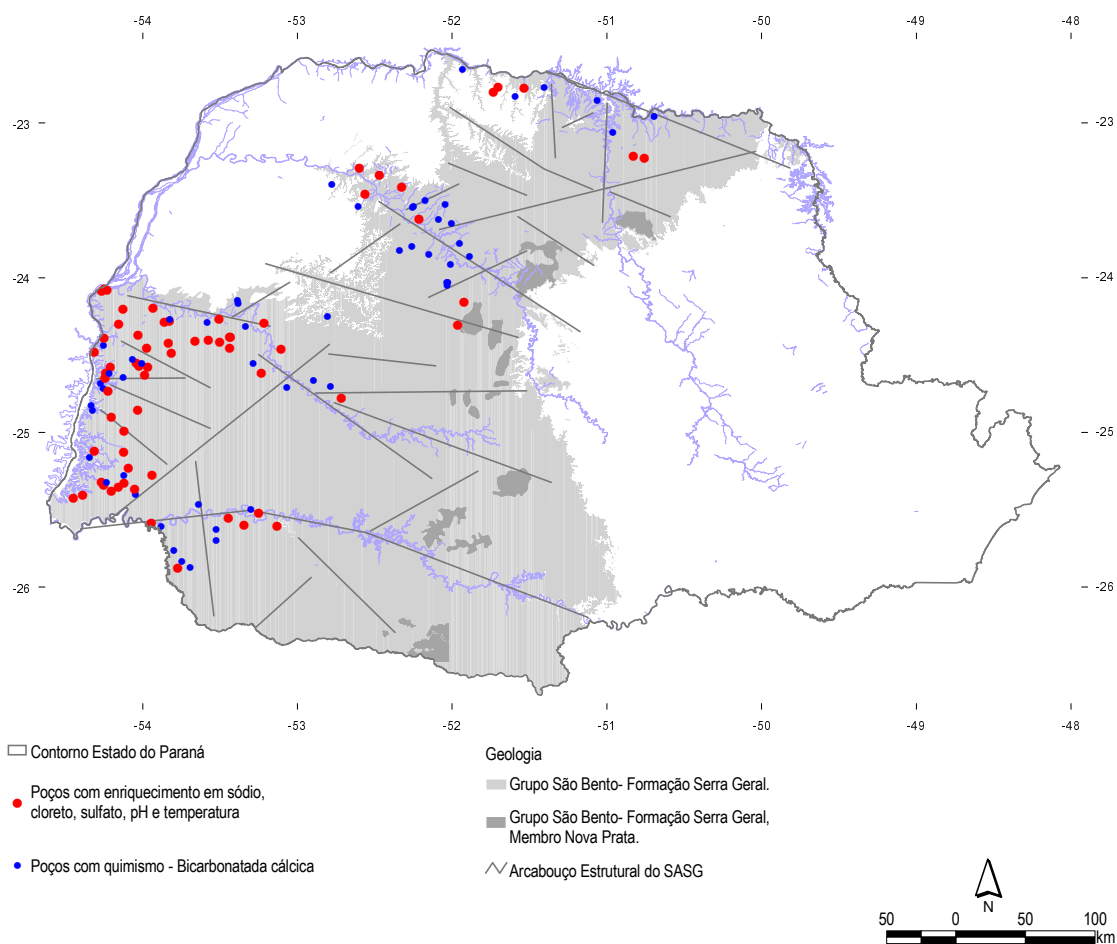


Figura 113: Mapa dos poços com potenciometria e quimismo indicando a mistura de águas entre o SAG e o SASG.

4.4.7.3 Classificação das águas do Sistema Aquífero Guarani

Dentre as 99 amostras coletadas foram identificadas 20 tipos de água para o SAG. A classificação obedeceu ao método dos íons predominantes. A Figura 114 apresenta o diagrama de Piper das amostras coletadas no SAG.

Predominam águas do tipo bicarbonatada – cálcica (30 amostras); secundariamente águas do tipo bicarbonatada – sódica (25 amostras); seguidas por águas bicarbonatadas cálcio – magnesianas (cinco amostras), bicarbonatada cálcio – sódicas (cinco amostras).

Foram também classificados os tipos químicos: bicarbonatada-carbonatada sódica; carbonatada – bicarbonatada sódica; cloretada sódica; bicarbonatada sódio – cálcica; bicarbonatada cloretada sódica; carbonatada bicarbonatada sódica; carbonatada sódica; cloretada sódica; bicarbonatada cloretada cálcio – sódica; cloretada magnésio – cálcica; cloretada sódio potássica; cloretada sódica; cloretada sulfatada sódica e sulfatada-bicarbonatada sódica.

A Figura 115 apresenta um gráfico com os tipos de água e o número de ocorrências dentre as amostras coletadas nos poços tubulares. O mapa com a localização dos tipos de água classificados (reclassificados em seis grupos principais) é apresentado na Figura 1148.

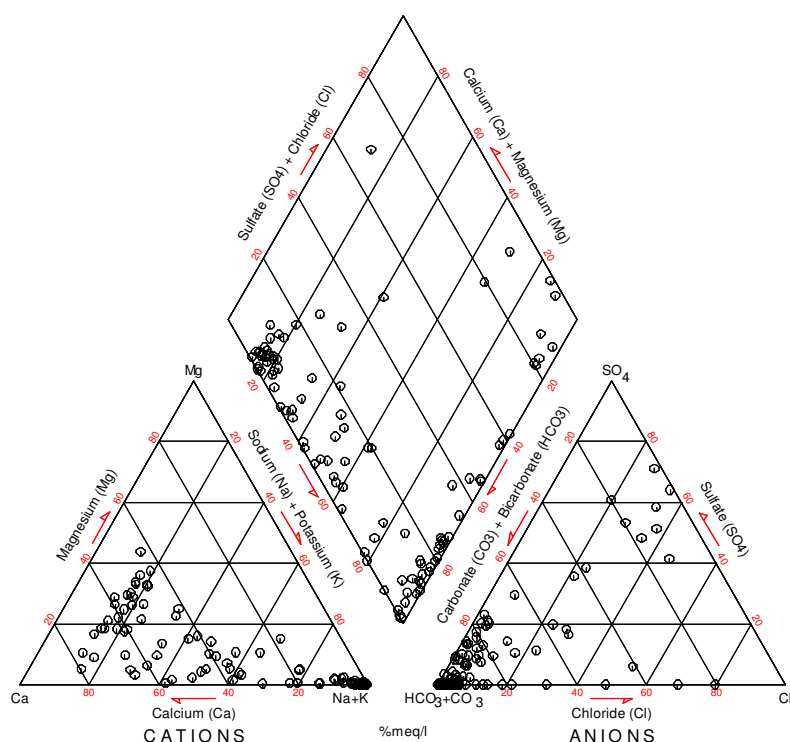


Figura 114: Diagrama de Piper das amostras coletadas no SAG.

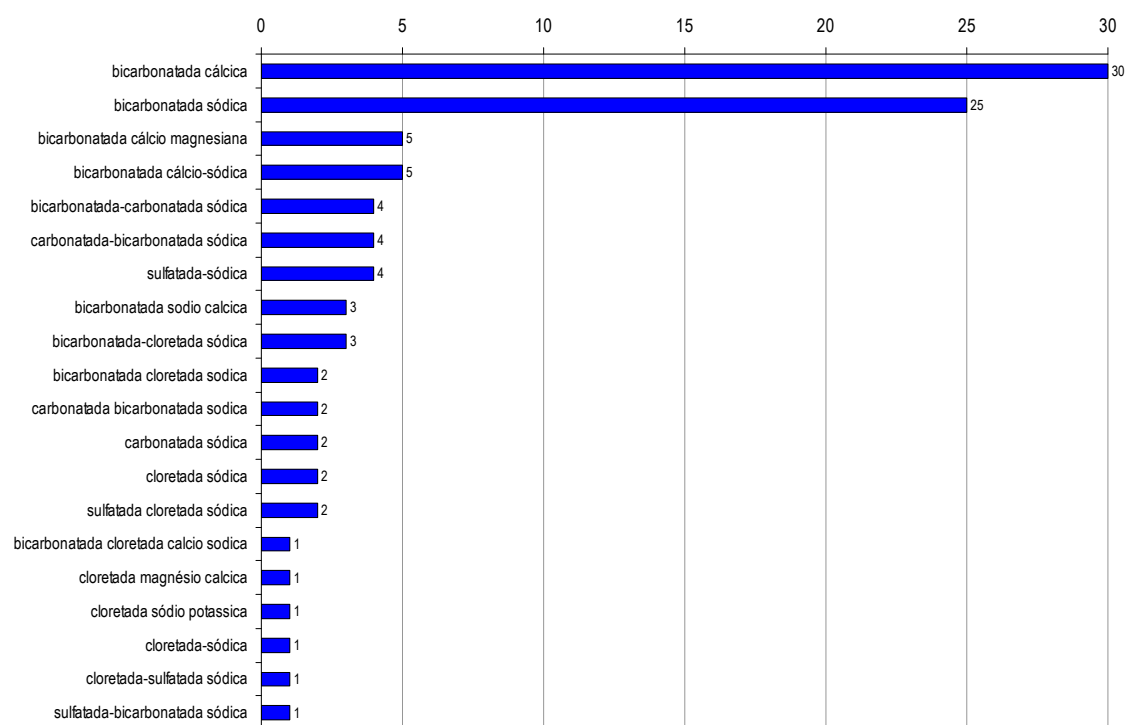


Figura 115: Tipos de água classificados nas amostras coletadas no SAG.

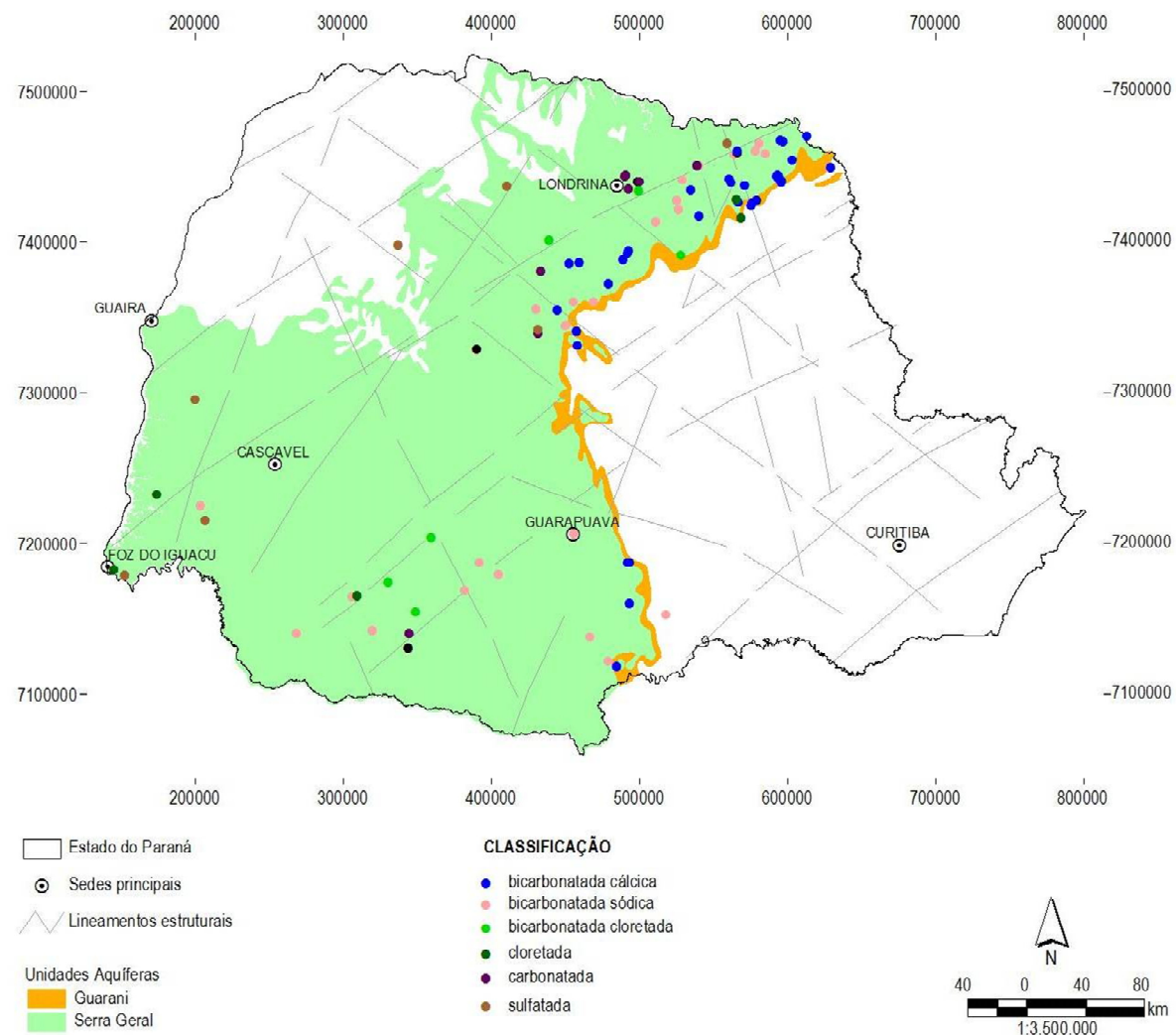


Figura 116: Mapa com a distribuição dos tipos de água classificados para o SAG.

4.4.7.4 Caracterização das zonas regionais de mistura de águas

Considerando que os poços com relações potenciométricas favoráveis à mistura de águas também possuem enriquecimento nos elementos: sódio, cloreto, sulfato, carbonato, pH e temperatura, foi possível identificar agrupamentos de poços com indícios de conectividade entre o SASG e o SAG.

Na Figura 117 é apresentado o mapa com a localização dos poços (em vermelho) com características químicas e possibilidade física de mistura de águas SASG / SAG.

O compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu apresenta grande parte de seu território em áreas com possibilidade de mistura de águas. Neste compartimento ocorrem as cotas topográficas mais baixas da Fm. Serra Geral.

Poços localizados próximos aos rios: Iguaçu (porção sudoeste do estado), rio Ivaí (próximo ao contato com o aquífero Caiuá) e três poços situados próximos ao rio Paranapanema, também se caracterizam como regiões com maior risco de mistura de águas entre os sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani.

A mediana da temperatura dos poços com possibilidade física de conectividade é 23 °C, maior que a mediana de temperatura de todo o SASG (22,6 °C).

Considerando que no estado do Paraná o SAG possui temperaturas de até 65 °C, e que o SASG é um aquífero classificado como frio (DNPM, 1945); quando ocorre a mistura de águas entre os aquíferos SAG e SASG, eleva-se a temperatura das águas nestes poços. Isso permite utilizar a temperatura como traçador natural, e de baixo custo, no início dos trabalhos de pesquisa cuja hipótese esteja associada à mistura de águas entre estes aquíferos.

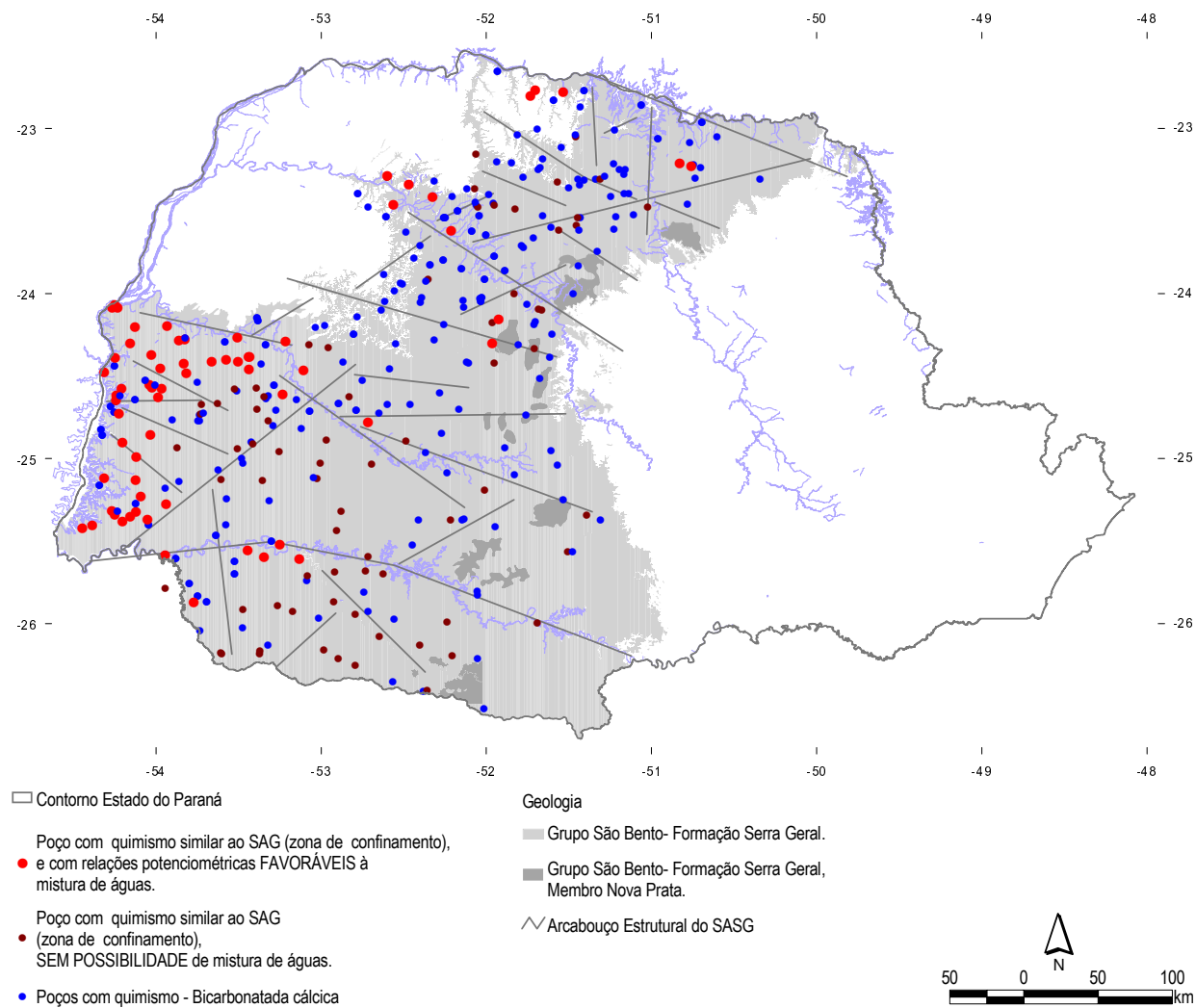


Figura 117: Localização dos poços (em vermelho) com indícios de mistura de águas.

5. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O SASG na área abrangida pelo estado do Paraná se caracteriza como um aquífero fraturado, livre, anisotrópico, com poços apresentando produções significativas, que atendem a demanda integral de inúmeros municípios paranaenses.

Regionalmente o fluxo do SASG ocorre de leste para oeste, desde as áreas de afloramento até o Rio Paraná, no extremo oeste do Estado.

Em função da circulação de águas ocorrer nas fraturas e estruturas atectônicas, não se pode delimitar especificamente uma única área de recarga. A recarga, portanto, é difusa em toda área de ocorrência do SASG.

A análise do mapa potenciométrico, associada à relação bicarbonato / cloreto e a distribuição espacial do STD, permitem indicar prováveis “zonas de descarga regionais” no estado, de norte para sul, os rios: Paranapanema, Ivaí, Piquiri, Paraná e Iguaçu.

As estruturas que compõem o arcabouço estrutural do SASG possuem elevadas profundidades ($\geq 1\text{ km}$) e conectam diferentes estruturas sub-horizontais atectônicas, características de derrames basálticos, como contatos entre derrames, zonas de cavidades, zonas brechadas. Estas estruturas representam entradas de água no poço e onde estão concentrados os fluxos preferenciais no aquífero.

As estruturas regionais apresentadas no arcabouço estrutural, em uma escala de maior detalhe, caracterizam zonas de falhas e/ou faturamento da rocha. Nestas áreas, o reservatório subterrâneo está estruturado (sob o aspecto de falhas e fraturas), o que permite a intercomunicação de diferentes níveis horizontais de produção de água. Isso garante vazões mais representativas e estáveis em longo prazo, uma vez que o volume do reservatório torna-se maior.

Um exemplo esquemático de como as estruturas subverticais potencializam o reservatório é apresentada na Figura 118. Por meio dessas estruturas, além do aumento de produção nos poços, pode ocorrer a mistura de águas de diferentes tempos de trânsito, e diferentes aquíferos.

Poços tubulares perfurados em regiões com fraturamento regional (1:600.000) nas direções norte-sul e leste – oeste, tendem a ser mais produtivos segundo os dados considerados neste modelo. Tais direções são associadas a eventos tectônicos recentes que atuaram e atuam na placa sul-americana, ocorridos próximo ao estado do Paraná. Este fato reflete a importância do estudo tectônico e estrutural na locação de poços em aquíferos fraturados.

A direção E-W é associada à movimentação atual da placa tectônica, lineamentos com azimuth paralelo representam a direção de abertura e alívio de tensão. A produtividade junto as estruturas NS pode ser associada a direção onde ocorre a decomposição dos esforços distensionais ou a projeção do contato entre derrames em superfície.

Regionalmente áreas com características geomorfológicas como topos alongados e aplainados; vertentes retilíneas e côncavas na base; vales em calha; vales em V e vales em V encaixados estão associadas a poços com bons índices de produção.

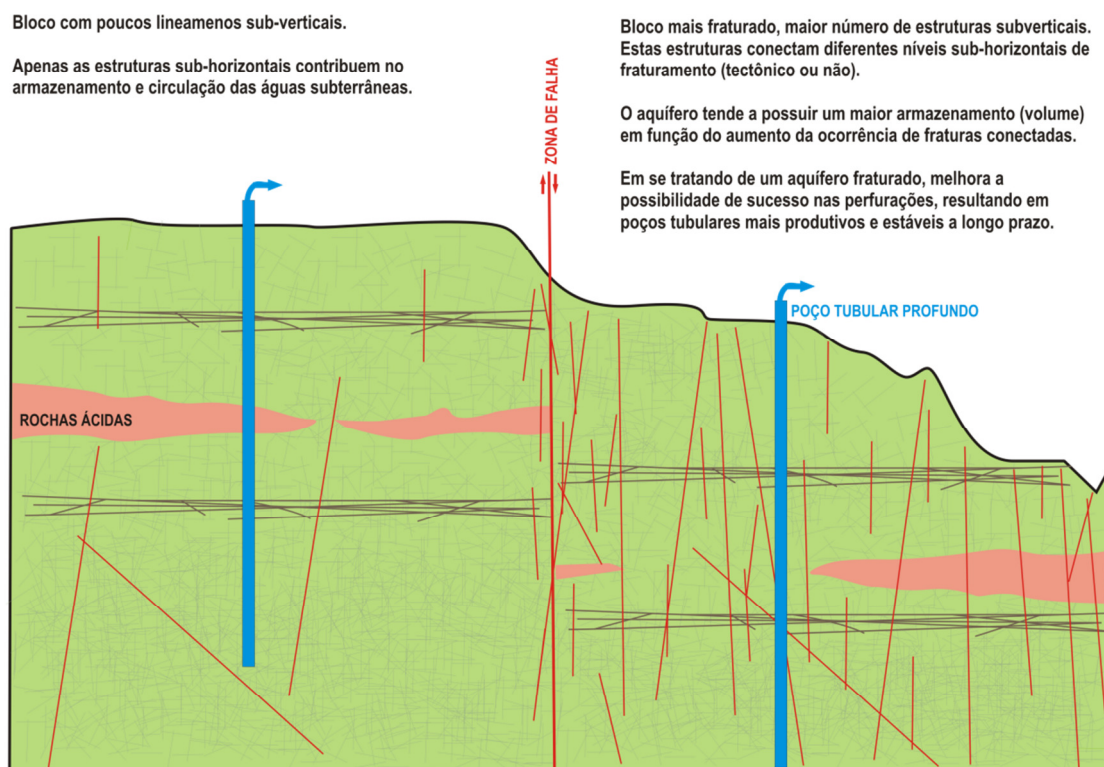


Figura 118: Modelo esquemático de como as estruturas subverticais potencializam o reservatório.

Nos compartimentos Hidroestruturais Maringá e Campo Mourão os poços possuem elevados índices de produção. Predominam águas bicarbonatadas cálcicas no aquífero, quimismo representando fluxos de água mais rasos (também são menores os valores de profundidade máxima da entrada de água nestes aquíferos).

Esta menor profundidade de circulação das águas aumenta a vulnerabilidade do aquífero. Isso pode ser a explicação dos elevados teores de nitrato encontrados nestes compartimentos. Neste sentido destaca-se negativamente o Compartimento Hidroestrutural Maringá com os maiores valores do íon nitrato nas águas. Isso indica o aporte de efluentes antrópicos no aquífero, sejam oriundos das áreas urbanas (esgoto industrial e doméstico) ou derivados de fertilizantes e agroquímicos.

O Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu também apresenta poços com excelentes índices de produção. Situado no oeste do estado, este compartimento possui como área de descarga regional o rio Paraná. Trata-se de região onde também ocorre a descarga de fluxos mais profundos do SASG.

Esta combinação de fluxos de diferentes profundidades é identificada no número de águas classificadas como bicarbonatadas sódicas. Inclusive este compartimento apresenta mediana dos valores de sódio maior que a concentração do cálcio nas águas.

Na região deste compartimento grande parte dos poços apresenta condições físicas (potenciométricas) favoráveis para ascensão das águas do SAG até o SASG. Quando isso ocorre existe uma “contaminação” do SASG uma vez que as águas do SAG nesta região apresentam elevadas concentrações de elementos dissolvidos nas águas, com destaque para o sódio, cloreto e sulfato. Esta mistura de águas pode inclusive restringir o uso *in natura* para consumo e irrigação.

O Compartimento Hidroestrutural Foz do Areia possui a pior mediana considerando os índices de produção dos poços tubulares que captam o SASG. Representa assim a região (compartimento) de maior risco exploratório.

Corroborar esta afirmação a existência dos maiores valores de escoamento superficial sobre a Fm. Serra Geral (SUDERHSA, 2006), indicando baixos valores de infiltração. Outro aspecto importante é que, segundo Mineropar (2012), neste compartimento ocorrem espessos horizontes de vidros vulcânicos, que representam uma rocha impermeável, reduzindo drasticamente as propriedades petrofísicas do reservatório.

Assim como no Compartimento Hidroestrutural Foz do Iguaçu predominam águas bicarbonatadas cálcicas, com ocorrências significativas de águas bicarbonatadas sódicas e carbonatadas sódicas. É o compartimento com mediana de profundidade de entrada de água mais elevado.

Destaca-se a diferenciação química do aquífero na região sudoeste deste compartimento, existindo um enriquecimento de elementos dissolvidos nos poços situados na margem esquerda do rio Iguaçu. Em função dos baixos índices de produção dos poços e ocorrência de elementos acima dos VMP, esta é a região de maior risco exploratório do SASG paranaense.

É importante ressaltar que deve ser considerada a hipótese de mistura de águas entre o SASG e o SAG apenas quando existe condição potenciométrica favorável. Ainda que a potenciometria seja favorável à mistura de águas, o enriquecimento por si em sódio, pH, sulfato, dentre outros, pode ter origem na dissolução dos minerais de preenchimento das fraturas, ou zonalidades geoquímicas dos basaltos. Nestes casos, a temperatura das águas pode ser um parâmetro importante na identificação de áreas com misturas de águas.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A escala regional deste trabalho certamente implica na abordagem parcial de muitos dos temas apresentados, sendo necessários estudos complementares e de maior detalhe, que busquem elucidar pontos inconclusivos, que aqui não foram suficientemente esclarecidos.

A partir da interpretação dos resultados desta pesquisa observou-se que aspectos estruturais, tectônicos e geomorfológicos governam a ocorrência de poços tubulares com índices de produção relevantes.

Neste sentido, a proposta de compartimentação apresentada pode auxiliar na identificação de regiões com maior ou menor risco exploratório, considerando aspectos de produção do SASG.

O conhecimento da distribuição espacial dos elementos químicos no aquífero permite também, reconhecer áreas onde ocorrem restrições ao abastecimento *in natura* em função de teores que ultrapassem os VMP. Estas informações também podem ser utilizadas em projetos aptidão das águas e geomedicina.

Sob este ponto de vista podem ser ressaltadas as anomalias de flúor no oeste paranaense, positivas para o envase de águas minerais e negativas sob o aspecto de superexposição para os residentes que usam este recurso hídrico local.

Os resultados aqui apresentados tornam a exploração do SASG paranaense mais previsível, de modo que as empresas de abastecimento público ou empresas privadas interessadas nas águas deste aquífero possam investir com mais segurança seus recursos.

Estudos futuros, tendo como base o método aqui utilizado, são necessários para corroborar o conhecimento do SASG e/ou elucidar aspectos inconclusivos nesta tese. Dentre as perspectivas de estudos urgentes, destacam-se:

- Aplicar a metodologia utilizada em escalas de maior detalhe (1:25.000 / 1:250.000), associadas a levantamentos geológico-estruturais sistemáticos em campo e geofísica de alta resolução. O objetivo é verificar as respostas dos compartimentos e das direções azimutais de maior produtividade em diferentes escalas.
- Estabelecer estudo de detalhe sobre a especiação química das águas, índices de saturação, bem como conhecer os elementos menores e traços não investigados nesta pesquisa. O objetivo aqui é complementar os estudos hidroquímicos com análises geoquímicas.
- Implantar um sistema de monitoramento físico-químico, principalmente nos poços onde existe ocorrência do íon nitrato.
- Verificar a localização dos poços improdutivos e verificar se existe associação com os compartimentos propostos.
- Caracterizar a idade das águas e desta forma evitar a super-exploração do aquífero. Monitorando um possível

rejuvenescimento das águas detecta-se previamente o aporte de efluentes antrópicos superficiais indesejados.

- Caracterizar a idade das águas nos poços onde existe suspeita de mistura de águas entre os aquíferos para testar a hipótese de envelhecimento aparente das águas do SASG pelo SAG.
- Verificar quais os poços que podem sofrer influência do SAG em função da ausência de revestimento nos poços.
- Identificar as características hidrogeológicas das subdivisões propostas por MINEROPAR (2012) no trabalho de mapeamento da Fm. Serra Geral no Paraná e considerar a litologia como condicionante exploratório.

7. REFERENCIAS

ARRAES, T. M, CAMPOS, J. E.G. 2007. Proposição de critérios para avaliação de bacias hidrogeológicas. Revista brasileira de geociências, São Paulo, 81 – 89, mar. 2007.

ATHAYDE, G., MÜLLER, C., ROSA FILHO, E.F, HINDI, E. 2007a. Estudo sobre os tipos das águas do Aquífero Serra Geral, no município de Marechal Cândido Rondon – Pr. Águas Subterrâneas, São Paulo, 21, dez. 2007.

ATHAYDE, G., ROSA FILHO, E.F, HINDI, E. 2007b. Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Paraná 3. Itaipu Binacional – relatório interno, Foz do Iguaçu - PR, set. 2007.

ATHAYDE, G. B. 2008. Análise estrutural e hidroquímica da Fm. Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Paraná 3. Curitiba, Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

ATHAYDE, G. B. 2010. Diretrizes da SANEPAR na prospecção e monitoramento de aquíferos no Estado do Paraná. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro nacional de perfuradores de poços., 2010, São Luís. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro nacional de perfuradores de poços., 2010. v. 1.

BERTOLO, R. A., HIRATA, R C A., FERNANDES, A.J. 2007. Hidrogeoquímica das águas minerais envasadas do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, p. 515-529, 2007.

BETIOLLO, L. M. 2006. Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado em Geociências)- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BITTENCOURT, A.V.L. 1996. Sobre o controle do quimismo de águas termais. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n. 44, p. 117-129, 1996.

BRASIL. 2008. CONAMA. Portaria nº 396 de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

BRASIL. 2011. Portaria MINISTÉRIO DA SAÚDE N° 2914/2011- Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BUCHMANN FILHO, A.C. 2002. Características das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Paraná. Curitiba, 2002, 120p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) Departamento de Geologia, UFPR.

CELLIGOI, A., DUARTE, U. 2004. Hidrogeoquímica do Aquífero Caiuá no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, 51, set. 2004.

CPRM. 2000. Hidrogeologia conceitos e aplicações. Serviço Geológico do Brasil. 2ª ed.

CPRM. 2010. Atlas pluviométrico do Brasil. Serviço Geológico do Brasil.

FASSBINDER, E., SADOWSKI, G.R., FIORI, A.P. 1994. Modelo de Riedel aplicado no Lineamento Lancinha, no Estado do Paraná. Bol. Paranaense de Geociências, n 42, p 173-184. 1994.

FERNANDES, A. J. 2001. The influence of Cenozoic Tectonics on the groundwater-production capacity of fractured zones: a case study in Sao Paulo, Brazil. Hydrogeology Journal, Heidelberg, v. 9, p. 151-167, 2001

FERNANDES, A. J.; , C.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L. M. R.; PRESSINOTTI, M. M. N.; VARNIER, C.; IRITANI, M. A.; HIRATA, R. 2006. Modelo conceitual preliminar de circulação de água subterrânea do aquífero Serra Geral, Ribeirão Preto, SP. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas da ABAS., 2006. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006.

FERNANDES, A. Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. Revista do Instituto Geológico, v. 29, p. 49-72, 2008.

FERNANDES, A. J. MALDANER, C., ROULEAU, A. 2011. Análise de fraturas nos basaltos de Formação Serra Geral (Ribeirão Preto, SP): aplicação para a elaboração de modelo hidrogeológico conceitual. Geologia USP. Série Científica, v. 11, p. 3-20, 2011.

FERREIRA, F.J. 1982. Integração de Dados Geofísicos e Geológicos: Configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa, tese de Doutorado. USP. 1982.

FITTS, C. R. 2002. Groundwater Science. Elsevier. p. 450.

FRAGA, G. C. 1986. Introdução ao zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. 1986. 132 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências- USP, São Paulo, 1986.

FREEZE, R.A., CHERRY, J.A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ. 604 p.

FREITAS, M. A. 2002. Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina / Organizado por Marcos A. de Freitas; Bráulio R. Caye; José L. F. Machado. Porto Alegre: CPRM/ SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI. 2002.

HINDI, E. C. 1999. Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das Bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo, PR. Curitiba, 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

HINDI, E.C. 2007. Hidroquímica e hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná. Curitiba, 2007, 153p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) Departamento de Geologia, UFPR.

HOBBS, W. 1904. Lineaments of the Atlantic border region. GSA Bulletin, v. 15, p. 483 - 506, 1904.

HOUNSLOW A.W. 1995. Water Quality Data. Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, 397 p.

LASTORIA, G. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Rio Claro : [s.n.], 2002., 133 f. : il. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

LICHT, O. A. B. 2001. Análise multielementar na gestão ambiental – Identificação e caracterização de Províncias Geoquímicas naturais, alterações antrópica da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil. Curitiba, V1-V2. 209 f. Tese

(Doutorado em Geologia) - Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná.

LICHT, O. A. B. 2012. Estudo de produtos hidrovulcânicos no sudoeste do Paraná, Brasil. Curitiba, V1. 314 f. 2012.

LOPES, K. 2008. Caracterização morfológica, petrográfica e química dos derrames da Província Magmática do Paraná com ênfase para as rochas aflorantes no município de Guarapuava – PR, Curitiba, 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

LPGA. 2010. Mapa aeromagnetométrico do Estado do Paraná. no prelo.

MARQUES, A.; ZANOTTO, O.A.; FRANÇA, A.B.; ASTOLFI, M.A.M.; PAULA, O.B. 1993. Compartimentação tectônica da Bacia do Paraná. Curitiba: PETROBRÁS/ NEXPAR, 87 p. (relatório interno).

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M. ; NARDY, A. J. R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Parana Basin: an introduction. In: PICCIRILLO E. M. & MELFI, A. J. (Eds.). The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: USP, 1988. p. 1-14.

MELLANGER, M.; CHORK, S.C.Y.; DIJKSTRA, S.; ESBENSEN, K.H.; KÜRZL, H.; LINDQVIST, L.; SAHEURS, J.P.; SCHERMANN, O.; SIEWERS, U.; WESTERBERG, K. 1984. The multivariate chemical space and the integration of the chemical, geographical and geophysical spaces. Journal of Geochemical Exploration, v. 21, p. 143-148, 1984.

MILANI, E. J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre , 1997.

MILANI, E.J., RAMOS,V.A. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 28(4):473-484, 1998.

MILANI, E.J. 2004. Geologia do Continente Sul Americano: Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. São Paulo: Beca, 2004. 265-279.

MINEROPAR. 2006a. Minerais do Paraná S.A. Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná. Escala 1:650.000 Curitiba: Mineropar, 2006a.

MINEROPAR. 2006b. Minerais do Paraná S.A. Mapa geológico do Estado do Paraná. Escala 1:650.000 Curitiba: Mineropar.

NANNI, A.S. 2008. O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2008. [127 f.]. il.

O'LEARY. D. W.; FRIEDMAN, J.D; POHN, H. A. 1976. Lineament, linear lineation some proposed new standards for old terms. Geological Society America Bulletin 87, p. 1463-1469, 1976.

PEATE D. W.; HAWKESWORTH C. J.; MANTOVANI M. S. M. 1992. Chemical Stratigraphy of Paraná Lavas (South America): Classification of Magma Types and their Spatial Distribution. Bull. Volcanol, 55: 119-139.

PIPER, A.M. 1945. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Transactions of the American Geophysical Union – 1944. Washington (DC), Part VI, p. 914-928, May/1945.

PORTELA FILHO, C. V; FERREIRA, F.J.F.; ROSA FILHO, E. F.; BUCHMANN FILHO, A.C.; ROSTIROLLA, S.P. 2002. Estudo Preliminar da Conexão entre os aquíferos Serra Geral e Guarani com base em dados aeromagnetométricos e hidroquímicos. Revista Paranaense de Geociências, 2002.

PROJETO REDE SUL – LPH. 2010. Zoneamentos dos Aquíferos Serra Geral e Guarani no Estado do Paraná. CNPq – Fundação Araucária. 2010.

REBOUÇAS. A.C. 2006. Águas subterrâneas. In: Gonçalves, V.G.; GIAMPA, C.E.Q.; (Ed) Águas Subterrâneas e poços tubulares profundos. Ed. Signus. 3 – 41 p.

RENNE, P.R., Deckart, K., Ernesto, M., Féraud, G., and Piccirillo, E.M., 1996a, Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism: Earth and Planetary Science Letters, v. 144, p. 199–211, doi:10.1016/0012-821X(96)00155-0

ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L.; SALAMUNI, R. 1987. Contribuição ao estudo das águas subterrâneas nos basaltos no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, n.37, p. 22-41, 1987.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C. 2006. Diagnóstico das águas subterrâneas no Estado do Paraná: quantidade e Qualidade. Relatório técnico.

ROSTIROLLA, S.P., ASSINE, M.L., FERNANDES, L.A., ARTUR, P.C. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – o exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá. Rev. Brasil. Geociências. 2000. 30(4):639-648.

RÜEGG, N. 1969. A. Aspectos geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de rochas basálticas da Bacia do Paraná, São Paulo, 1969. Tese (Doutorado), USP.

SCHEIBE, L., HIRATA, R. 2008. O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal. Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal : Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008. v. 1.

SILVERMAN, B.W., 1986. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman & Hall, 1986 – P. 175.

SINGAL, B.B.S., GUPTA, R.P. 1999. Applied Hydrogeology of Fracture Rocks. Springer. P. 408, 1999.

SOARES, A. P., SOARES, P. C., BETTU, D. F., HOLZ, M. 2007. Variabilidade espacial no Sistema aquífero Guarani: controles estruturais e estratigráficos. Águas Subterrâneas (São Paulo), v. 21, p. 51-64, 2007.

SOUZA, A. A. 2004. Caracterização da Bacia do Rio Iguaçu, a jusante do município de Reserva do Iguaçu, como área de descarga do Aquífero Guarani, Curitiba. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SRTM USGS; EROS Data Center; Data Services Branch. Seamless Data Distribution System. Disponível em: <<http://seamless.usgs.gov/>> Acesso em: 12 nov. 2005.

STEARNS, H.T. 1942. Hydrology of volcanic terraines, in Hydrology, Dover Publication, New York, p. 678 – 703.

STRUGALE, M. 2002. Arcabouço e evolução estrutural do Arco de Ponta Grossa no Grupo São Bento (Mesozóico): implicações na hidrodinâmica do sistema Aquífero Guarani e na migração de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. Curitiba, 2002, 138p. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória), Departamento de Geologia, UFPR.

SUDHERSA. 1998. Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná.

THIEDE, D. S., VASCONCELOS, P. M. 2010. Parana flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed by new ⁴⁰Ar/³⁹Ar results. *Geology* 2010 38: 747-750

U.S. SALINITY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Department of agriculture; Agriculture Handbook, n. 60, 160p. Washington, DC, 1954.

WAHNFRIED, D. 2010. Modelo conceitual de fluxo do Aquitarde Serra Geral e do Sistema Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto, SP. 2010. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências.

WSM - WORLD STRESS MAP PROJECT. 2008. Disponível em: http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction_frame.html. Acesso em 10 de julho de 2009.

ZALÁN, P.V., CONCEIÇÃO, J.C., WOLFF, S., ASTOLFI, M.A., VIEIRA, I.S., APPI, V.T., NETO, E.V.S., CERQUEIRA, J.R., ZANOTTO, O.A., PAUMER, M.L., MARQUES, A. 1987. Análise da Bacia do Paraná. Internal Report Gt-Os-009/85, PETROBRÁS (DEPEX-CENPES), Rio de Janeiro. 195p.

ZALÁN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J. C., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T. 1990. Bacia do Paraná. In: Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1990. p. 135 - 164.

X	Y	Condutividade (μS)	Tempetarura (°C)	pH	Alcal. (mg/L)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻² (mg/L)
570494	7423274	303,00	28,70	7,56	123,00	189,03	312,00	69,20	182,29	0,00	25,28	0,13	0,24	0,50	54,27	12,30	13,00	1,60	0,01	26,52	0,01
328030	7258127	268,00	20,60	8,80	140,00	23,48	206,00	48,10	137,61	13,73	1,71	0,31	0,02	0,50	7,48	1,19	48,80	0,40	0,01	1,33	0,01
258779	7325509	77,60	22,60	6,89	35,00	115,60	99,00	48,00	50,35	0,00	1,57	0,13	0,45	0,50	10,69	1,75	3,20	1,90	0,01	0,40	0,01
258153	7327580	80,50	23,20	6,85	38,00	37,48	54,00	49,30	52,51	0,00	1,01	0,11	0,54	0,50	12,55	1,36	4,00	2,80	0,01	0,40	0,01
447449	7482016	184,90	23,70	7,05	93,50	53,91	169,00	47,50	118,00	0,00	1,17	0,07	0,02	0,50	15,83	3,42	23,90	1,00	0,01	4,95	0,01
253009	7130510	243,00	22,70	9,85	125,00	3,20	170,00	36,00	90,93	27,73	0,78	0,13	0,02	0,50	0,69	0,36	48,80	0,12	0,01	0,24	0,01
406198	7435082	173,00	24,10	6,44	73,00	74,68	157,00	60,60	89,46	0,00	2,19	0,30	0,02	0,50	19,48	6,20	6,30	1,30	0,01	7,07	0,01
283646	7272492	156,90	22,70	6,89	62,00	72,42	161,00	46,10	85,31	0,00	1,48	0,01	0,26	0,50	18,85	6,25	6,50	0,90	0,03	29,17	0,01
456003	7392075	246,00	22,60	8,44	101,00	68,12	175,00	42,40	127,73	0,00	5,01	0,01	0,24	0,50	14,54	6,27	26,72	0,43	0,01	3,09	0,01
457538	7388819	153,70	22,30	7,07	62,00	69,77	133,00	41,40	73,24	0,00	2,64	0,16	0,11	0,50	19,48	3,67	6,75	0,69	0,01	14,14	0,01
458299	7397378	144,60	21,40	7,04	57,00	55,09	125,00	43,60	89,27	0,00	1,38	0,01	0,12	0,50	14,17	3,62	6,36	0,81	0,01	1,68	0,01
456721	7397200	167,00	21,20	6,82	57,00	74,63	123,00	39,50	78,34	0,00	7,55	0,01	0,17	0,50	15,43	7,17	4,74	0,88	0,01	1,19	0,01
451102	7417170	87,50	23,10	8,30	45,50	31,89	96,00	44,40	55,79	0,00	0,06	0,01	0,29	0,50	9,15	1,85	6,13	0,71	0,01	0,09	0,01
420297	7311174	183,50	20,90	6,90	74,00	81,85	155,00	43,50	87,93	0,00	3,98	0,08	0,02	0,50	22,55	6,05	8,30	0,60	0,01	17,24	0,01
337109	7339986	146,40	21,60	7,49	72,00	45,97	137,00	47,70	86,73	0,00	2,35	0,39	0,05	0,50	17,52	0,56	12,10	0,60	0,01	4,02	0,01
346837	7352493	277,00	21,50	6,60	92,00	115,91	220,00	46,40	112,71	0,00	26,69	0,24	0,16	0,50	36,73	6,00	5,60	2,00	0,01	28,29	0,01
348281	7351628	164,10	20,90	6,68	76,00	69,94	149,00	46,50	86,97	0,00	7,26	0,14	0,18	0,50	23,62	2,72	6,90	0,90	0,01	8,84	0,01
342992	7346923	67,70	21,60	6,61	35,00	28,00	73,00	31,50	40,30	0,00	2,35	0,14	0,11	0,50	8,46	1,70	2,40	1,40	0,72	1,11	0,01
439642	7303041	201,00	20,80	7,19	102,50	102,70	167,00	46,40	121,37	0,00	2,17	0,05	0,08	0,50	29,50	6,88	7,30	1,00	0,26	0,22	0,01
247024	7297355	220,00	22,80	9,51	114,00	3,95	171,00	38,50	78,49	31,45	0,67	0,54	0,17	0,50	1,54	0,05	50,60	0,30	0,01	0,13	0,01
239611	7298739	x	22,00	7,80	74,00	54,86	141,00	49,90	84,03	0,00	0,77	0,04	0,17	0,50	15,84	3,57	15,12	0,60	0,01	4,20	0,01
238693	7311087	57,50	24,10	6,12	29,00	26,77	73,00	35,50	36,91	0,00	1,33	0,58	0,28	0,50	6,56	2,65	1,90	0,70	0,01	1,24	0,01
246270	7313804	156,70	24,40	7,25	84,00	36,95	145,00	34,40	111,22	0,00	1,52	0,63	0,19	0,50	12,04	1,34	25,00	0,60	0,01	2,52	0,01
230817	7297336	82,50	21,10	7,22	43,00	34,58	98,00	45,10	53,34	0,00	0,62	0,82	0,31	0,50	9,48	2,82	5,20	0,90	0,01	0,57	0,01
422596	7424298	112,90	23,40	7,28	55,70	50,69	132,00	52,80	57,20	0,00	0,83	0,07	0,53	0,50	12,72	4,03	3,85	0,80	0,01	22,02	0,01
434908	7437110	82,90	22,60	6,85	33,60	38,86	50,00	49,90	51,87	0,00	1,98	0,09	0,48	0,50	9,76	3,09	3,42	0,85	0,01	4,64	0,01
432007	7429590	183,90	22,80	6,40	52,70	80,26	155,00	49,00	70,04	0,00	6,06	0,03	0,46	0,50	19,12	7,00	4,01	1,57	0,01	25,64	0,01
433241	7431387	178,40	23,00	7,35	66,90	78,57	159,00	52,40	88,67	0,00	4,30	0,10	0,48	0,50	21,38	5,25	4,78	1,64	0,01	15,47	0,01
393014	7439801	322,00	23,10	6,90	34,10	131,99	210,00	49,50	49,75	0,00	74,65	0,09	0,45	0,50	29,89	13,39	6,70	4,50	0,01	0,93	0,01
230737	7134921	209,00	20,60	7,13	112,00	93,96	195,00	65,50	137,26	0,00	4,10	0,17	0,15	0,50	25,22	7,63	8,10	0,40	0,01	1,81	0,01
397018	7340361	250,00	23,30	7,28	100,00	99,52	213,00	54,20	131,19	0,00	2,18	0,37	0,32	17,81	31,51	6,44	14,60	0,40	0,01		0,01
397364	7342727	268,00	24,10	6,95	102,00	120,71	230,00	57,70	137,78	0,00	12,54	0,16	0,26	0,50	36,69	8,73	9,90	0,60	0,01		0,01
385821	7341060	354,00	23,70	7,30	167,00	144,18	278,00	55,10	222,88	0,00	3,32	0,23	0,13	0,50	45,08	9,68	19,40	0,30	0,01	11,05	0,01
374189	7324560	50,60	22,60	7,32	25,00	24,24	65,00	32,70	34,44	0,00	0,44	0,10	0,18	0,50	5,95	2,60	1,50	0,60	0,01	0,22	0,01
479600	7456662	x	23,30	7,02	81,00	146,19	204,00	30,80	99,95	0,00	13,58	< 0,01	0,46	0,50	39,33	9,58	6,97	1,20	0,01	42,43	0,01
318146	7317189	51,00	21,20	7,01	40,00	26,32	70,00	35,90	34,25	0,00	0,34	0,11	0,43	0,50	9,72	0,41	2,00	0,70	0,01	0,27	0,01
440833	7240027	104,20	19,40	7,76	55,00	44,31	100,00	38,60	59,13	0,00	0,05	0,23	0,09	0,50	17,26	0,29	7,00	0,40	0,01	0,35	0,01
240064	7100683	335,00	22,30	9,31	160,00	6,82	126,00	38,90	97,95	41,90	3,83	0,87	0,09	0,50	2,42	0,19	70,20	0,30	0,10	0,04	0,01
240485	7100210	245,00	21,80	9,30	130,00	6,32	148,00	19,10	107,56	24,37	9,25	0,44	0,08	0,50	2,18	0,22	59,00	0,20	0,01	1,46	0,01
421830	7378097	105,20	23,30	6,30	25,00	42,17	84,00	34,30	33,83	0,00	4,24	0,01	0,15	0,50	10,00	3,28	3,75	0,77	0,01	7,07	0,01
423072	7376956	207,00	22,70	7,20	85,00	88,76	164,00	53,20	109,80	0,00	1,93	0,25	0,20	0,50	23,08	5,49	9,44	0,51	0,01	4,42	0,01
396508	7342364	168,80	23,70	7,01	75,00	64,79	158,00	50,60	100,93	0,00	1,14	0,24	0,30	2,34	20,78	4,04	10,90	0,40	0,01		0,01
286913	7253398	122,90	22,70	6,97	62,00	57,40	123,00	43,50	82,91	0,00	1,05	0,01	0,37	0,50	17,19	3,57	5,40	0,90	0,01	1,24	0,01
426983	7479439	181,10	23,60	7,15	71,80	50,48	148,00	54,10	86,66	0,00	2,60	0,09	0,45	0,50	14,09	3,16	11,02	2,48	0,01	7,60	0,01
265883	7274957	90,30	24,20	8,83	52,00	11,76	86,00	27,60	52,71	3,61	0,58	0,01	0,15	<0,01	4,32	0,24	16,90	0,40	0,01	0,35	0,01
264691	7273450	44,10	22,70	6,84	25,00	19,96	54,00	25,70	28,44	0,00	0,21	0,01	0,22	<0,01	5,15	1,75	1,70	0,60	0,01	1,37	0,01
263461	7274317	104,90	22,70	9,93	60,00	4,35	84,00	25,70	21,87	21,63	0,58	0,01	0,13	0,50	1,47	0,17	21,00	0,10	0,01	0,31	0,01
259262	7265940	77,00	21,20	7,00	45,00	36,16	89,00	38,00	53,84	0,00	0,11	0,01	0,29	0,50	10,34	2,55	3,40	0,90	0,01	1,00	0,01
467833	7423643	x	22,00	7,21	50,00	55,20	90,00	18,80	63,98	0,00	1,71	0,01	8,95	0,50	10,08	7,30	3,39	0,71	0,01	1,11	0,01
470810	7423630	x	22,10	7,03	44,00	40,70	91,00	37,00	54,88	0,00	2,04	0,03	0,32	0,50	9,23	3,70	4,23	0,33	0,01	1,33	0,01
473540	7425472	x	23,40	6,08	42,00	128,95	195,00	46,40	98,40	0,00	28,60	0,05	0,34	0,50	30,01	11,26	6,56	1,07	0,01	37,13	0,01
440338	7390703	282,00	22,00	7,70	130,00	129,57	225,00	50,50	155,50	0,00	5,91	0,01	0,31	0,50	40,99	5,23	10,14	0,57	0,01	18,56	0,01
445044	7388568	220,00	22,00	7,42	115,00	79,41	185,00	50,40	146,96	0,00	0,88	0,08	0,26	0,50	22,07	5,03	15,89	0,49	0,01	1,94	0,01
320639	7266202	147,70	21,00	7,39	75,00	53,24	134,00	42,40	85,53	0,00	3,42	0,18	0,02	0,50	16,22	3,16	10,70	0,60	0,01	5,75	0,01
323963	7286521	77,30	21,60	7,23	40,00	32,42	95,00	45,70	46,67	0,00	4,27	0,13	0,06	0,50	8,90	2,53	3,60	0,60	0,01	1,59	0,01

X	Y	Condutividade (μS)	Tempetarura (°C)	pH	Alcal. (mg/L)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻² (mg/L)
316116	7274959	176,30	21,90	7,60	95,00	62,28	154,00	48,10	107,78	0,00	3,20	0,17	0,06	0,50	17,20	4,79	14,40	0,50	0,01	1,86	0,01
418353	7223609	126,00	19,80	7,02	65,00	60,39	108,00	33,90	69,65	0,00	0,93	0,01	0,08	0,50	15,60	5,08	3,30	0,40	0,07	6,41	0,01
298867	7230088	291,00	21,50	9,95	138,00	2,57	200,00	34,50	71,79	55,57	0,16	0,01	0,14	<0,01	0,79	0,15	64,40	0,40	0,01	0,35	0,01
359415	7339046	89,00	22,20	6,68	54,00	38,84	100,00	39,70	52,00	0,00	8,07	0,10	0,40	0,50	12,77	2,53	3,60	0,80	0,07	1,37	0,01
360055	7342861	122,00	22,70	7,44	65,00	44,47	116,00	40,20	74,08	0,00	0,82	0,20	0,17	0,50	14,66	2,53	7,70	1,00	0,01	3,85	0,01
406712	7188012	153,60	19,46	8,45	68,00	36,20	89,00	2,90	51,16	0,00	2,90	<0,01	<0,03	<1,00	11,54	1,29	5,91	0,88	0,01	5,30	0,01
387460	7193193	123,10	21,70	7,00	45,00	59,46	136,00	33,50	57,26	0,00	2,53	0,01	0,12	0,50	15,93	4,67	3,10	1,20	0,08	10,83	0,01
386429	7192523	125,30	21,50	6,64	52,00	54,53	113,00	35,70	70,13	0,00	0,93	0,13	0,10	0,50	15,72	3,62	7,10	1,30	0,07	6,63	0,01
211144	7163795	210,00	22,20	7,17	95,00	98,60	196,00	70,30	122,47	0,00	4,60	0,28	0,09	0,50	26,77	7,83	6,70	0,50	0,01	5,08	0,01
204785	7166045	113,90	21,80	6,62	54,00	65,50	123,00	50,50	73,00	0,00	3,67	0,16	0,13	0,50	13,23	8,00	2,50	0,40	0,01	1,24	0,01
235462	7179879	135,40	23,70	6,87	68,00	61,85	125,00	44,50	81,52	0,00	1,37	0,01	0,23	<0,01	16,04	5,37	6,00	0,60	0,01	2,03	0,01
256044	7243434	119,30	22,10	6,60	57,00	39,62	100,00	36,30	64,97	0,00	0,94	0,01	0,20	0,50	14,53	0,83	6,00	1,30	0,01	0,84	0,01
256997	7242300	120,00	23,00	9,64	50,00	6,72	84,00	25,70	20,98	22,38	0,47	0,09	0,08	0,50	2,30	0,24	19,90	0,40	0,01	0,18	0,01
247579	7239083	183,00	25,00	9,92	57,00	4,25	90,00	29,30	4,55	32,70	0,31	0,13	0,05	0,50	1,47	0,15	22,90	0,40	0,01	<0,04	0,01
267708	7204086	135,60	22,50	7,35	60,00	46,04	108,00	34,00	77,10	0,00	0,31	0,08	0,15	0,50	16,39	1,26	7,80	0,40	0,01	1,59	0,01
263234	7217572	204,00	21,20	8,62	74,00	49,99	154,00	44,40	85,06	2,11	3,50	0,34	0,19	2,52	13,90	3,77	18,30	5,10	0,01	1,28	0,01
273579	7237320	80,10	23,40	5,77	22,00	24,40	53,00	15,60	25,91	0,00	3,71	0,01	0,06	0,50	6,34	2,11	3,20	0,90	0,01	5,08	0,01
250264	7232206	92,20	23,50	6,74	43,00	37,15	84,00	34,10	52,83	0,00	0,57	0,01	0,25	0,50	10,30	2,82	3,10	0,90	0,01	0,44	0,01
251227	7229566	186,80	21,30	6,85	74,00	68,96	130,00	38,90	92,77	0,00	1,51	0,01	0,26	0,50	19,68	4,89	5,50	0,90	0,01	3,18	0,01
441492	7476252	150,60	23,50	6,75	64,60	64,00	162,00	70,00	84,75	0,00	3,04	0,13	0,57	0,50	15,51	5,42	6,20	1,86	0,01	8,31	0,01
212216	7215943	208,00	20,80	6,51	72,00	95,05	130,00	47,00	110,00	0,00	4,88	0,02	0,21	0,50	23,44	8,99	5,90	1,00	0,01	8,40	0,01
336422	7358287	129,20	23,50	7,65	64,00	56,30	120,00	40,40	82,31	0,00	0,49	0,33	0,15	0,50	19,28	2,77	4,20	2,10	0,01	1,64	0,01
363682	7076736	111,10	18,80	7,15	x	53,40	106,00	34,90	72,78	0,00	0,60	0,13	0,41	0,50	16,88	2,67	5,30	0,80	0,01	1,11	0,01
366368	7077210	164,40	19,80	9,59	x	14,79	164,00	47,10	13,23	40,58	0,05	1,42	0,35	0,50	5,23	0,41	40,30	0,40	0,01	1,37	0,01
270824	7265464	102,60	23,70	6,95	57,00	45,94	102,00	37,80	65,72	0,00	0,32	0,01	0,30	0,50	14,89	2,16	4,70	0,60	0,01	1,20	0,01
274845	7275531	156,80	26,00	9,15	81,00	10,28	140,00	40,70	81,27	11,81	0,53	0,01	0,12	0,50	3,56	0,34	33,60	0,40	0,01	0,35	0,01
269497	7255121	33,80	22,00	6,30	18,00	16,89	42,00	19,70	24,90	0,00	0,21	0,01	0,14	0,50	4,67	1,29	0,90	0,40	0,01	<0,04	0,01
266294	7258071	80,50	23,70	8,79	46,00	14,03	80,00	25,80	47,52	5,22	0,32	0,01	0,19	<0,01	4,71	0,56	13,60	0,60	0,09	0,09	0,01
527738	7432112	252,00	25,40	8,53	34,00	22,02	143,00	42,00	46,99	0,00	14,30	1,52	0,02	21,32	14,01	0,70	18,90	1,70	0,01	0,13	0,01
529069	7433433	236,00	23,30	8,09	44,00	79,05	182,00	45,50	125,94	0,00	4,73	0,26	0,13	0,50	27,66	2,16	19,40	0,30	0,01	6,19	0,01
533299	7431230	258,00	23,30	6,59	53,00	121,14	201,00	61,20	128,34	0,00	7,26	0,09	0,24	0,50	30,86	9,50	7,10	0,90	0,01	6,36	0,01
329494	7129891	102,20	19,70	6,93	44,00	55,07	99,00	40,20	60,72	0,00	0,10	0,09	0,19	0,50	14,87	4,18	2,20	1,20	0,01	<0,04	0,01
345412	7124887	145,10	19,10	8,47	56,00	43,68	115,00	29,90	70,09	0,00	1,33	0,25	0,02	0,50	15,21	1,34	14,50	0,70	0,01	9,37	0,01
396709	7098906	99,20	19,70	6,45	x	37,38	112,00	48,50	58,46	0,00	1,10	0,01	0,67	0,50	13,30	1,00	6,20	2,00	0,02	4,42	0,01
386174	7336806	188,70	23,20	7,37	85,00	84,64	157,00	35,10	112,71	0,00	2,18	0,18	0,20	0,50	25,11	6,49	7,50	0,40	0,01	11,93	0,01
286995	7164753	246,00	23,70	10,16	115,00	2,77	184,00	48,20	27,55	59,92	3,88	0,45	0,02	0,50	0,87	0,15	54,00	0,10	0,09	<0,04	0,01
454000	7345588	116,20	22,00	7,19	58,00	47,04	110,00	42,20	67,96	0,00	0,06	0,13	0,11	0,50	16,58	1,34	6,50	1,40	0,01	0,71	0,01
185372	7231540	285,00	23,10	9,70	140,00	2,67	179,00	41,00	61,93	57,44	1,10	0,06	0,07	0,50	0,99	0,05	62,00	0,20	0,01	1,02	0,01
176519	7241489	162,19	23,00	7,90	77,00	13,38	214,00	39,80	96,32	33,39	0,19	0,26	0,06	0,50	5,24	0,07	75,50	0,50	0,01	1,68	0,01
330471	7229598	210,00	21,40	7,36	100,00	56,02	176,00	45,30	130,69	0,00	5,42	0,40	0,10	0,50	14,26	5,03	26,50	0,40	0,06	0,71	0,01
291615	7150289	142,50	20,20	6,64	51,00	60,66	119,00	33,80	71,29	0,00	11,38	0,19	0,10	0,50	16,59	4,74	6,10	0,60	0,05	2,70	0,01
292065	7153898	x	23,50	9,94	110,00	4,47	160,00	33,30	33,44	50,65	0,44	0,19	0,03	0,50	1,46	0,19	53,20	0,20	0,01	0,40	0,01
374146	7396780	139,00	23,80	7,44	70,30	68,45	144,00	57,80	84,04	0,00	1,32	0,03	0,17	0,50	18,79	3,79	7,72	0,22	0,01	3,54	0,01
373545	7396624	153,90	24,50	8,07	72,90	54,54	142,00	48,70	88,08	0,00	3,19	0,76	0,13	0,50	19,12	0,53	12,22	0,25	0,01	4,55	0,01
283453	7129423	206,00	23,80	9,81	115,00	7,09	176,00	35,50	69,17	41,41	0,82	0,25	0,09	0,50	2,31	0,32	52,00	0,40	0,17	1,37	0,01
365181	7364723	210,00	23,70	7,55	101,00	80,92	182,00	50,60	140,57	0,00	0,60	0,22	0,19	0,50	25,60	5,25	13,00	0,20	0,01	1,68	0,01
373367	7368373	148,50	23,70	7,48	75,00	65,55	158,00	62,00	95,23	0,00	1,53	0,13	0,34	0,50	18,51	5,59	6,70	0,50	0,01	5,75	0,01
168938	7265915	116,90	23,60	7,90	x	53,96	118,00	49,60	66,44	0,00	0,35	0,12	0,02	0,50	14,69	3,45	8,00	0,60	0,01	1,72	0,01
170992	7262298	259,00	23,60	7,84	x	87,45	179,00	56,40	116,08	0,00	1,84	0,27	0,02	0,50	27,38	3,82	17,22	0,60	0,01	2,03	0,01
174127	7260560	266,00	23,50	8,44	x	20,58	194,00	50,50	96,10	17,30	2,33	0,72	0,02	0,50	6,44	0,90	56,20	0,20	0,01	1,72	0,01
312246	7197423	220,00	21,30	9,90	110,00	21,60	179,00	42,60	118,30	15,41	1,00	0,20	0,04	0,50	7,13	0,85	39,06	0,39	0,01	1,33	0,01
335247	7333749	124,10	21,90	7,31	58,00	55,30	119,00	42,70	71,57	0,00	2,35	0,33	0,12	0,50	16,30	3,62	3,40	2,10	0,01	4,86	0,01
399151	7355487	123,80	24,00	7,43	60,00	52,96	129,00	52,90	73,83	0,00	1,31	0,15	0,36	0,50	15,55	4,16	5,50	0,70	0,01		0,01
367303	7421487	253,00	23,00	6,62	100,00	129,72	211,00	54,00	113,96	0,00	7,44	0,01	0,29	0,50	32,19	9,24	5,90	2,55	0,01	30,94	0,01
390858	7387851	87,10	21,70	7,03	43,00	36,10	95,00	46,30	50,09	0,00	1,21	0,01	0,26	0,50	9,40	2,31	3,68	0,47	0,01	1,68	0,01
458135	7471973	98,20	23,30	6,33</																	

X	Y	Condutividade (μS)	Tempetatura (°C)	pH	Alcal. (mg/L)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻² (mg/L)
263745	7309365	172,40	23,90	7,80	95,00	68,37	156,00	50,50	108,44	0,00	0,38	0,05	0,20	0,50	20,55	4,21	12,90	0,70	0,01	1,24	0,01
299423	7125414	202,00	20,90	7,19	95,00	106,71	164,00	41,10	113,56	0,00	1,92	0,20	0,40	0,50	28,57	8,39	5,10	0,90	0,03	8,84	0,01
404015	7326362	195,50	23,00	7,01	100,00	72,63	183,00	57,40	125,06	0,00	0,29	0,20	0,02	0,50	19,07	5,96	15,70	0,40	0,01	8,84	0,01
408136	7328166	194,60	23,70	7,40	100,00	66,80	172,00	55,40	121,26	0,00	1,56	0,26	0,02	0,50	18,70	4,79	17,30	0,40	0,03	0,80	0,03
294410	7321923	110,70	21,80	6,62	52,00	47,64	113,00	45,80	62,07	0,00	3,42	0,27	0,16	0,50	14,37	2,92	3,10	3,20	0,01	2,21	0,01
300412	7322884	206,00	22,40	6,90	100,00	97,54	178,00	48,20	122,32	0,00	6,62	0,20	0,19	0,50	30,04	5,59	4,20	4,60	0,01	5,13	0,01
400103	7212667	177,10	20,50	7,23	83,00	78,46	157,00	48,10	107,06	0,00	1,87	0,08	0,08	0,50	18,52	7,63	11,50	1,10	0,06	3,80	0,01
179929	7308690	59,00	22,30	6,36	35,00	23,02	69,00	33,80	33,24	0,00	1,05	0,54	0,37	0,50	5,99	2,07	3,00	0,90	0,01	1,15	0,01
168286	7332524	150,50	22,80	7,44	77,00	44,16	140,00	45,70	93,66	0,00	0,90	0,76	0,27	0,50	14,13	2,38	18,10	1,10	0,01	1,19	0,01
169847	7334297	188,80	22,90	7,79	94,00	37,25	159,00	42,80	109,20	0,00	2,66	0,60	0,21	4,11	11,75	2,11	27,40	0,80	0,01	2,16	0,01
171643	7332907	144,20	23,00	8,53	77,00	14,72	131,00	40,70	70,15	11,06	0,95	0,74	0,24	0,50	5,75	0,17	27,60	0,70	0,01	0,75	0,01
431377	7457034	263,00	23,10	7,85	126,40	127,25	211,00	48,90	163,33	0,00	4,14	0,21	0,08	0,50	37,75	6,64	7,38	2,76	0,01	4,77	0,01
302434	7245427	120,00	20,40	8,04	78,00	39,92	138,00	43,30	95,30	0,00	3,56	0,44	0,06	0,50	11,68	2,65	17,20	0,30	0,13	1,28	0,01
448446	7206708	124,00	20,10	7,09	70,00	54,53	114,00	38,40	78,31	0,00	1,04	0,65	0,11	0,50	15,52	3,74	6,00	0,50	0,03	1,02	0,01
471383	7193117	234,00	19,10	6,53	68,00	117,08	183,00	43,20	99,24	0,00	7,47	0,01	0,11	0,50	36,54	6,10	4,00	0,20	0,01	25,64	0,01
462882	7196137	278,00	19,50	9,95	131,00	2,77	238,00	34,60	98,66	63,18	0,49	0,10	0,02	0,50	1,07	0,02	79,00	0,30	0,06	<0,04	0,01
451393	7171348	100,80	18,90	6,25	40,00	33,31	135,00	41,70	99,36	0,00	0,73	0,11	0,02	0,50	12,03	0,34	20,20	0,23	0,01	0,40	0,01
454167	7171573	185,70	19,20	7,75	95,00	75,40	154,00	45,00	117,64	0,00	1,06	0,25	0,10	0,50	22,52	3,60	9,36	0,42	0,01	0,71	0,01
361428	7107512	114,10	20,20	6,01	x	31,63	118,00	49,10	49,32	0,00	2,41	0,03	0,44	0,50	10,00	1,58	9,20	3,30	0,01	12,82	0,01
297042	7219857	120,30	18,80	6,72	59,00	54,14	160,00	47,40	110,00	0,00	6,10	0,01	0,13	0,50	16,71	3,06	18,00	0,30	0,05	2,12	0,01
294824	7219878	70,80	19,30	6,60	34,00	35,17	48,00	35,20	44,87	0,00	3,50	0,32	0,10	0,50	8,87	3,31	1,80	0,40	0,01	1,46	0,01
415499	7434112	108,90	23,70	6,66	50,00	42,56	99,00	35,30	62,70	0,00	0,31	0,08	0,02	0,50	12,51	2,67	5,10	2,40	0,01	2,70	0,01
291935	7265178	149,10	23,40	7,70	77,00	58,79	141,00	45,20	99,98	0,00	0,05	0,01	0,21	0,50	18,18	3,31	12,10	0,60	0,01	1,02	0,01
326043	7403443	133,20	24,90	8,14	67,00	54,77	119,00	34,70	82,94	0,00	0,82	0,18	0,17	0,50	20,25	1,80	6,80	1,30	0,01	1,72	0,01
261226	7296699	112,30	22,50	6,93	48,00	50,29	107,00	43,40	60,04	0,00	1,57	0,01	0,23	0,50	12,87	4,47	3,90	1,00	0,01	4,02	0,01
388451	7299316	216,00	21,40	7,11	95,00	101,78	171,00	46,10	113,32	0,00	4,92	0,01	0,03	0,50	24,01	6,95	8,50	0,30	0,01	12,16	0,01
389466	7298904	213,00	21,40	7,80	102,50	97,05	178,00	48,50	123,90	0,00	4,86	0,06	0,02	0,50	25,10	8,14	12,70	0,50	0,01	4,20	0,01
165997	7216774	122,40	20,40	7,24	61,00	51,67	123,00	48,20	80,39	0,00	0,42	0,01	0,17	0,50	12,99	4,74	7,10	0,60	0,01	0,88	0,01
163131	7212443	176,50	22,20	6,98	79,00	65,21	75,00	44,80	99,22	0,00	1,31	0,01	0,14	0,50	19,15	4,29	12,00	0,90	0,01	4,14	0,01
399628	7385156	222,00	22,30	7,80	97,00	115,92	205,00	73,10	120,37	0,00	2,86	0,02	0,19	0,50	29,56	7,78	6,94	0,73	0,01	11,50	0,01
321559	7127883	223,00	20,20	9,92	110,00	3,59	200,00	48,10	62,89	51,59	1,43	0,63	0,10	0,50	2,31	0,32	59,20	0,40	0,20	<0,04	0,01
290613	7310254	203,00	22,90	9,14	100,00	24,46	163,00	43,20	69,53	26,39	5,55	0,55	0,06	0,50	7,44	1,46	35,00	0,40	0,01	1,77	0,01
276161	7311445	141,10	22,90	8,44	72,00	31,04	129,00	43,60	83,36	0,00	3,42	0,34	0,02	0,50	10,59	1,14	17,70	0,40	0,19	2,25	0,01
441201	7318336	151,60	20,80	6,70	69,00	57,82	133,00	46,50	78,79	0,00	3,75	0,17	0,14	0,50	17,94	3,09	8,80	0,80	0,01	4,20	0,01
430287	7308597	164,50	21,20	6,82	77,00	78,05	152,00	50,10	102,25	0,00	1,35	0,18	0,10	0,50	19,22	7,12	8,90	0,40	0,01	3,14	0,01
378018	7387629	77,70	21,90	6,38	38,00	38,75	107,00	52,30	57,35	0,00	0,72	0,33	0,31	0,50	8,62	3,35	3,38	0,39	0,01	3,14	0,01
446340	7444444	184,50	23,30	6,88	83,00	85,83	161,00	47,30	106,42	0,00	1,47	0,01	0,02	0,50	27,18	4,28	6,00	2,50	0,01	8,84	0,01
429313	7383409	294,00	22,90	6,50	93,00	153,93	239,00	58,50	116,09	0,00	10,29	0,26	0,12	0,50	40,85	12,11	8,80	1,30	0,03	37,57	0,01
320298	7328901	69,30	21,70	6,89	31,00	29,47	87,00	41,50	42,82	0,00	4,06	0,26	0,09	0,50	8,70	1,92	2,90	0,60	0,01	1,59	0,01
341824	7405124	51,30	23,20	6,11	23,00	19,64	66,00	34,20	33,96	0,00	0,55	0,01	0,02	0,50	4,51	1,99	2,30	0,90	0,01	0,80	0,01
430861	7327143	158,90	21,10	7,47	81,00	77,64	139,00	46,20	93,23	0,00	1,64	0,12	0,11	0,50	20,90	6,03	5,00	0,50	0,01	2,74	0,01
429927	7325158	150,90	21,40	7,54	65,00	57,72	136,00	45,30	73,98	0,00	3,57	0,12	0,08	0,50	16,30	4,04	10,10	0,30	0,01	11,49	0,01
253482	7300901	181,30	22,80	7,22	87,00	57,60	164,00	51,70	108,82	0,00	0,90	0,68	0,24	0,50	16,56	4,23	20,30	0,50	0,01	3,36	0,01
254003	7301031	171,70	23,50	7,33	96,00	38,33	169,00	49,10	107,56	7,46	0,57	0,45	0,29	0,50	12,03	2,21	29,10	0,40	0,01	2,52	0,01
253848	7292774	174,90	24,30	7,83	89,00	50,29	158,00	47,70	106,30	0,00	1,00	0,27	0,35	0,50	15,27	3,21	22,00	0,70	0,01	3,62	0,01
311953	7298501	87,80	22,50	7,14	46,00	33,20	98,00	42,20	52,69	0,00	3,20	0,23	0,11	0,50	11,18	1,31	5,60	0,60	0,01	2,30	0,01
349935	7386414	136,50	23,60	6,57	36,00	56,88	106,00	33,60	49,45	0,00	3,03	0,02	0,02	0,50	14,19	5,11	4,40	0,90	0,01	14,59	0,01
351471	7246003	272,00	22,00	9,36	148,00	13,45	231,00	46,60	123,35	35,26	3,22	0,25	0,02	0,50	3,79	0,95	66,00	0,20	0,01	0,66	0,01
359811	7192444	108,50	21,00	6,45	70,00	84,57	124,00	29,20	91,85	0,00	0,05	0,08	0,17	0,50	21,22	7,39	5,80	0,60	0,07	4,11	0,01
534318	7462145	146,80	23,70	7,01	49,00	64,20	145,00	62,70	67,17	0,00	3,43	0,04	0,02	0,50	16,72	5,20	4,90	0,80	0,01	10,61	0,01
526713	7448238	302,00	23,80	6,66	96,00	129,12	239,00	73,80	137,23	0,00	10,98	0,16	0,05	3,13	35,92	9,09	8,40	0,60	0,01	14,14	0,01
434662	7334480	150,40	21,80	9,14	72,00	6,98	138,00	42,30	67,75	13,49	1,41	0,37	0,02	0,50	2,72	0,05	31,00	0,20	0,01	5,53	0,01
432663	7335174	187,40	21,90	7,43	85,00	55,66	168,00	52,90	108,62	0,00	2,11	0,59	0,03	0,50	17,12	3,06	19,30	0,50	0,01	7,51	0,01
241546	7205194	126,80	22,30	6,80	64,00	53,35	115,00	41,90	73,81	0,00	2,22	0,01	0,24	0,50	15,72	3,48	4,40	0,50	0,01	2,34	0,01
477316	7411604	130,40	22,00	7,00	65,00	51,73	121,00	48,90	71,82	0,00	1,32	0,01	0,44	0,50	14,30	3,16	5,83	0,48	0,01	3,32	0,01

X	Y	Condutividade (μS)	Tempetatura (°C)	pH	Alcal. (mg/L)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻² (mg/L)
479415	7389351	171,10	22,30	7,51	85,00	68,65	152,00	50,80	102,57	0,00	3,03	0,01	0,48	0,50	21,47	2,70	9,22	0,26	0,01	2,25	0,01
491520	7399269	107,20	22,60	6,52	40,00	45,09	113,00	50,50	51,28	0,00	3,36	0,01	0,51	0,50	12,35	2,82	3,34	0,86	0,01	8,31	0,01
485780	7413496	256,00	22,90	7,97	116,00	98,32	208,00	52,10	139,95	0,00	9,27	0,21	0,28	6,40	29,85	4,40	15,76	0,26	0,01	5,04	0,01
488582	7413381	x	23,90	7,54	182,00	143,30	264,00	54,50	222,04	0,00	5,69	0,13	0,09	0,50	37,26	10,16	17,94	0,42	0,01	4,77	0,01
500175	7404644	x	23,80	6,23	27,00	28,06	77,00	36,50	33,00	0,00	1,54	0,01	0,31	0,50	6,44	2,50	3,11	0,89	0,01	5,83	0,01
482652	7429485	x	23,20	6,87	110,00	114,92	208,00	64,20	141,02	0,00	5,69	0,05	0,41	0,50	31,51	7,17	6,90	0,50	0,01	6,90	0,01
486243	7430027	x	23,60	7,80	65,00	63,78	140,00	47,70	88,19	0,00	3,36	0,12	0,22	0,50	18,63	3,50	6,38	0,63	0,01	6,81	0,01
485468	7426303	x	23,30	7,04	85,00	111,72	201,00	51,20	112,78	0,00	8,10	0,01	0,29	0,50	33,90	5,37	6,51	0,59	0,01	27,40	0,01
479227	7433656	x	22,80	7,30	60,00	58,80	130,00	51,00	77,39	0,00	2,43	0,01	0,19	0,50	16,40	3,50	6,46	0,30	0,01	3,71	0,01
368143	7313864	121,20	22,10	7,52	55,00	48,00	119,00	41,20	80,16	0,00	0,55	0,09	0,18	0,50	17,86	1,51	7,40	0,30	0,01		0,01
425507	7338727	145,40	21,70	7,53	67,00	62,03	134,00	48,20	83,12	0,00	1,29	0,15	0,08	0,50	18,11	3,99	7,30	0,40	0,01	4,15	0,01
429973	7482982	171,70	23,40	7,01	76,70	67,58	169,00	69,00	93,56	0,00	3,75	0,10	0,17	0,50	16,93	5,40	8,69	1,68	0,01	6,90	0,01
268766	7106370	338,00	21,00	7,42	175,00	168,75	285,00	73,30	221,82	0,00	8,26	0,33	0,08	0,50	45,46	13,61	9,10	0,40	0,03	1,59	0,01
192454	7281079	1257,00	25,40	9,46	126,00	31,43	1076,00	43,90	97,85	45,32	12,94	1,56	0,06	580,00	12,80	0,12	320,00	0,60	0,01	0,49	0,01
164218	7288682	440,00	22,00	7,48	104,00	82,16	327,00	51,00	119,45	0,00	19,85	0,53	0,05	91,70	22,67	6,05	60,60	0,70	0,01	2,21	0,01
183810	7270705	130,30	21,90	7,18	63,00	56,90	125,00	49,00	69,05	0,00	1,76	0,08	0,11	0,50	15,47	4,33	5,20	0,70	0,01	7,29	0,01
194077	7279087	212,00	22,70	9,43	108,00	4,11	175,00	34,50	86,78	30,53	1,81	0,16	0,03	0,50	1,48	0,10	52,00	0,20	0,01	2,21	0,01
189655	7284045	191,60	20,60	7,38	86,00	66,86	163,00	47,20	103,21	0,00	2,40	0,02	0,06	0,50	20,25	3,87	14,00	0,60	0,01	12,38	0,01
175213	7278046	796,00	23,90	10,12	x	3,65	362,00	43,20	98,15	135,16	1,97	0,90	0,02	13,56	0,83	0,32	120,33	0,30	0,02	0,18	0,01
344347	7311107	104,20	21,90	6,64	45,00	44,50	111,00	40,40	53,17	0,00	9,61	0,26	0,11	0,50	12,56	3,26	4,10	1,00	0,01	7,96	0,01
340648	7294416	74,10	22,30	6,36	25,00	27,25	82,00	39,50	30,00	0,00	4,27	3,10	0,17	0,50	7,48	2,12	3,20	0,90	0,01	3,01	0,01
387680	7416638	136,70	21,90	7,09	57,00	66,35	139,00	48,60	75,38	0,00	1,93	0,10	0,72	0,50	18,95	3,23	5,56	2,24	0,01	12,38	0,01
435002	7398186	220,00	21,90	7,03	113,00	98,74	193,00	61,20	136,75	0,00	1,98	0,05	0,37	0,50	26,32	6,93	8,94	0,61	0,01	4,95	0,01
381160	7100566	143,20	19,60	8,65	80,00	24,24	132,00	42,80	75,95	8,64	0,11	0,01	0,45	0,50	9,67	0,02	22,60	1,10	0,01	1,37	0,01
377851	7123742	127,70	19,70	8,38	x	32,56	118,00	39,50	70,37	0,00	1,32	0,73	0,37	0,50	12,43	0,36	15,30	0,60	0,01	4,86	0,01
433614	7288171	89,70	20,80	7,09	39,00	36,15	54,00	36,60	54,61	0,00	0,55	0,11	0,14	0,50	13,71	0,46	5,40	0,10	0,06	0,22	0,01
376839	7224029	174,50	21,20	7,20	81,00	86,84	173,00	72,20	101,54	0,00	0,10	0,42	0,14	0,50	22,63	7,07	8,60	0,50	0,01	0,53	0,01
417791	7402655	341,00	24,20	6,21	69,70	127,98	226,00	62,20	102,63	0,00	10,15	0,25	0,02	0,50	27,88	13,88	12,10	1,20	0,01	37,13	0,01
469055	7374283	408,00	22,00	7,89	140,00	151,14	296,00	60,50	197,56	0,00	13,40	0,06	0,07	0,50	44,59	9,12	24,00	0,60	0,01	24,75	0,01
401383	7412347	219,00	23,80	6,66	82,10	115,15	200,00	64,40	99,24	0,00	8,26	0,01	0,20	0,50	28,96	7,97	6,09	1,11	0,01	22,98	0,01
404106	7406742	278,00	23,50	7,21	115,50	129,06	231,00	52,90	146,01	0,00	7,77	0,01	0,24	0,50	32,16	9,17	13,20	1,48	0,01	26,52	0,01
404797	7405419	259,00	23,40	7,02	106,00	113,93	219,00	57,00	125,35	0,00	9,37	0,01	0,19	0,50	27,62	9,58	14,80	0,94	0,01	23,87	0,01
395253	7398398	166,50	23,40	6,76	77,30	88,32	178,00	74,20	98,64	0,00	2,86	0,01	0,37	0,50	22,03	6,22	5,79	0,92	0,01	6,18	0,01
392528	7416333	170,30	25,10	9,12	94,50	7,73	156,00	38,70	117,64	0,00	0,88	0,01	0,13	0,50	2,39	0,27	38,30	0,46	0,01	3,89	0,01
345081	7083029	124,30	18,20	7,10	61,00	56,49	112,00	38,20	75,30	0,00	1,37	0,08	0,51	0,50	14,98	4,52	4,70	1,00	0,02	1,68	0,01
213244	7295579	102,60	21,90	7,25	50,00	40,41	109,00	46,70	64,08	0,00	0,67	0,59	0,33	0,50	11,14	3,26	6,30	0,80	0,01	0,44	0,01
215201	7289073	167,80	22,20	7,02	80,00	75,88	154,00	52,00	99,98	0,00	1,14	0,54	0,40	0,50	18,14	7,78	9,00	0,60	0,01	4,42	0,01
221979	7283361	88,70	22,20	6,91	48,00	32,11	97,00	38,50	56,88	0,00	2,00	0,56	0,57	0,50	9,92	1,94	5,70	0,70	0,01	1,24	0,01
203671	7211024	104,40	20,10	6,63	45,00	42,09	107,00	47,60	58,39	0,00	0,53	0,01	0,26	0,50	13,62	1,99	5,20	0,90	0,01	2,30	0,01
204519	7200467	272,00	21,80	7,07	91,00	84,08	169,00	48,10	120,83	0,00	8,72	0,08	0,12	15,00	21,70	7,37	16,40	0,60	0,01	4,15	0,01
383812	7267395	240,00	20,60	7,39	116,00	107,73	183,00	51,10	138,70	0,00	3,75	0,26	0,02	0,50	27,98	8,97	13,00	0,30	0,01	4,07	0,01
188809	7204900	191,00	22,10	8,18	80,00	66,61	142,00	14,70	119,18	0,00	0,67	0,16	0,07	0,50	22,36	1,70	27,50	0,50	0,02		0,01
186091	7194289	185,09	23,00	8,30	95,00	63,40	158,00	22,10	129,32	0,00	0,05	0,13	0,13	0,50	14,58	5,64	29,20	0,55	0,01		0,01
185745	7200306	198,80	22,00	7,45	88,00	70,88	185,00	53,00	112,22	0,00	0,14	0,04	0,11	0,50	25,54	1,70	22,40	0,90	0,05	14,14	0,01
170364	7293183	192,20	24,00	7,87	x	101,70	163,00	49,30	108,29	0,00	0,75	0,09	0,02	0,50	29,86	5,42	7,20	0,50	0,01	4,60	0,01
170690	7298683	254,00	23,70	8,23	x	85,38	175,00	49,10	126,37	0,00	0,79	0,24	0,02	0,50	20,84	6,66	20,80	0,40	0,01	2,17	0,01
185386	7216410	x	24,00	9,54	132,00	6,50	182,00	22,00	100,20	27,85	0,10	0,05	0,04	0,50	2,40	0,12	68,40	0,35	0,01	0,66	0,01
529898	7424063	301,00	27,30	7,99	140,00	99,84	208,00	31,80	166,07	0,00	1,80	0,18	0,02	12,19	36,29	1,92	22,00	1,60	0,01	0,09	0,01
269353	7282427	145,30	19,80	6,81	71,00	63,23	140,00	50,70	90,37	0,00	0,62	0,56	0,41	0,50	17,01	5,35	6,80	0,90	0,01	3,32	0,01
258672	7280326	97,80	23,50	9,04	52,00	9,88	93,00	28,70	46,39	9,20	0,67	0,52	0,24	0,50	3,97	0,05	21,40	0,40	0,01	0,27	0,01
334753	7264202	180,20	21,20	7,11	85,00	86,74	165,00	52,00	97,44	0,00	10,89	0,09	0,07	0,50	21,58	8,14	5,00	0,60	0,01	8,40	0,01
339832	7270166	135,20	21,50	7,28	66,00	57,96	124,00	41,40	76,39	0,00	3,63	0,10	0,02	0,50	16,54	4,13	6,00	0,40	0,01	5,75	0,01
353624	7270154	122,00	21,60	7,35	63,00	32,51	114,00	38,30	72,66	0,00	2,78	0,07	0,02	0,50	12,64	0,24	12,70	0,10	0,01	3,40	0,01
274106	7132888	232,00	20,10	9,41	125,00	17,87	204,00	42,40	98,66	38,93	0,60	0,20	0,09	0,50	6,59	0,34	54,40	0,40	0,17	0,75	0,01
343532	7201	374,00	25,20	9,71	166,00	1,78	244,00	46,80	86,41	52,34	1,02	0,66	0,03	0,50	0,54	0,10	90,10	0,30	0,01	<0,04	0,01
265294	7165631	242,00	20,60																		

X	Y	Condutividade (μS)	Tempetatura (°C)	pH	Alcal. (mg/L)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻² (mg/L)
255132	7170177	923,00	22,50	10,21	36,00	43,77	621,00	38,20	0,00	30,45	32,11	0,16	0,03	342,00	14,61	1,80	250,00	20,00	0,04	<0,01	0,01
198798	7292049	129,80	24,20	8,90	70,00	9,39	111,00	29,20	70,78	8,21	0,52	0,01	0,12	0,50	3,45	0,19	26,40	0,30	0,01	0,49	0,01
405338	7298886	224,00	22,60	9,08	121,00	34,40	209,00	46,00	117,40	26,03	0,38	0,37	0,07	0,50	10,00	2,24	53,00	0,10	0,07	0,49	0,01
404200	7311686	283,00	24,40	9,97	120,00	2,77	261,00	50,00	76,10	70,05	0,93	3,55	0,04	6,80	1,03	0,05	83,00	0,10	0,05	<0,04	0,01
378463	7411051	126,20	22,10	7,57	51,00	50,34	130,00	65,80	67,54	0,00	0,16	0,01	0,32	0,50	12,51	3,57	5,02	1,62	0,01	0,66	0,01
207133	7257521	144,00	21,80	7,30	77,00	73,68	145,00	51,50	92,82	0,00	1,40	0,01	0,16	0,50	19,96	4,74	5,83	0,92	0,01	4,42	0,01
400882	7065461	53,50	20,50	6,36	25,00	21,84	53,00	25,10	31,95	0,00	0,05	0,13	0,20	0,50	7,54	0,70	2,20	1,30	0,01	0,53	0,01
393504	7405403	243,00	22,30	7,07	78,90	124,42	214,00	60,70	92,23	0,00	10,69	0,01	0,28	0,50	32,07	8,14	8,35	0,65	0,01	38,01	0,01
394578	7404397	151,80	22,50	7,90	75,00	38,42	147,00	50,10	92,23	0,00	2,97	0,01	0,13	0,50	11,46	1,58	18,63	0,63	0,01	5,75	0,01
392889	7407242	164,60	22,80	7,61	72,80	87,22	168,00	59,00	83,09	0,00	6,12	0,01	0,35	0,50	20,61	6,83	6,89	1,13	0,01	17,68	0,01
381984	7401389	325,00	23,00	6,82	143,40	169,57	276,00	70,00	177,23	0,00	13,83	0,09	0,20	0,50	46,69	4,31	12,11	0,26	0,01	22,10	0,01
363670	7237746	297,00	21,10	7,39	158,00	151,11	231,00	63,00	170,44	0,00	0,05	0,29	0,07	0,50	40,48	11,67	10,71	0,60	0,01	1,86	0,01
373463	7251428	191,50	21,20	7,54	106,00	89,45	188,00	77,70	110,86	0,00	0,15	0,23	0,16	0,50	27,03	5,13	9,60	0,60	0,01	1,41	0,01
202534	7321070	233,00	25,40	9,36	120,00	5,63	180,00	40,40	87,21	30,96	0,81	0,68	0,23	0,50	1,74	0,34	52,00	0,40	0,01	0,18	0,01
209910	7311015	104,70	23,30	6,56	62,00	47,03	110,00	35,10	73,18	0,00	1,33	0,64	0,22	0,50	14,01	3,16	9,50	0,50	0,01	1,19	0,01
210133	7310917	162,00	23,00	8,77	80,00	11,36	138,00	35,00	74,44	13,68	3,61	0,58	0,19	0,50	4,37	0,17	34,00	0,30	0,01	1,24	0,01
213573	7311942	175,30	23,90	8,97	90,00	18,67	146,00	37,20	76,34	17,40	1,33	0,60	0,28	0,50	5,91	1,05	34,40	0,40	0,01	1,59	0,01
213706	7312955	199,50	23,30	7,16	98,00	83,78	154,00	38,00	116,66	0,00	2,28	0,57	0,31	0,50	27,74	3,96	10,50	0,60	0,01	2,34	0,01
337785	7424163	167,90	23,10	6,42	67,00	69,00	140,00	58,20	79,18	0,00	1,54	0,01	0,33	0,50	14,86	6,27	5,19	1,37	0,01	4,82	0,01
171933	7269640	467,00	25,20	9,81	x	4,87	251,00	37,50	22,09	63,00	1,89	0,64	0,02	60,32	0,83	0,56	72,20	0,30	0,03	0,09	0,01
172252	7273054	258,00	24,30	9,10	x	18,63	169,00	42,70	63,50	22,04	1,67	0,33	0,02	0,50	6,10	0,68	42,20	0,30	0,01	15,03	0,01
174335	7273399	128,10	23,40	7,88	x	63,34	122,00	49,60	69,64	0,00	1,14	0,11	0,02	0,50	18,84	3,26	5,50	0,60	0,09	1,50	0,01
336751	7113106	212,00	21,10	9,48	84,00	7,81	178,00	36,30	62,84	26,39	5,92	1,14	0,30	17,50	2,92	0,12	49,50	0,40	0,08	0,09	0,01
364106	7355183	57,00	23,30	5,86	22,00	26,60	59,00	26,30	27,71	0,00	0,93	0,01	0,02	0,50	5,74	2,92	2,10	0,60	0,01	3,40	0,01
362668	7353729	69,00	23,20	5,73	24,00	29,87	58,00	19,30	31,41	0,00	0,39	0,30	0,02	0,50	7,22	2,82	1,80	0,80	0,01	6,19	0,01
225149	7138522	155,60	20,60	7,19	75,00	68,76	144,00	51,10	88,10	0,00	4,10	0,61	0,17	0,50	23,05	2,77	5,70	0,50	0,01	3,54	0,01
222751	7134017	119,50	20,90	7,09	60,00	61,45	127,00	50,20	77,60	0,00	4,49	0,04	0,20	0,50	13,66	6,73	3,40	0,40	0,01	1,86	0,01
253053	7117925	213,00	20,00	7,43	114,00	101,17	193,00	50,10	142,44	0,00	3,72	0,27	0,20	0,50	27,36	8,10	6,10	0,70	0,01	2,03	0,01
432886	7123470	129,50	20,10	9,39	54,00	5,85	85,00	13,70	43,54	8,95	1,89	0,25	0,04	0,50	1,97	0,22	27,98	0,60	0,36	3,09	0,01
425278	7263517	x	x	x	x	39,87	47,00	11,80	44,32	0,00	0,71	0,01	0,24	0,50	10,12	3,50	2,00	1,00	0,01	5,25	0,01
219777	7146898	159,50	21,60	7,03	46,00	60,76	133,00	42,30	60,79	0,00	6,13	0,51	0,09	0,50	17,94	3,94	7,80	0,90	0,01	16,80	0,01
460628	7483248	290,00	23,40	6,43	115,00	137,70	241,00	70,40	140,90	0,00	12,59	0,08	0,57	5,11	33,21	11,77	7,68	1,32	0,01	13,70	0,01
356178	7175165	184,40	22,70	7,24	122,00	80,78	188,00	81,90	104,61	0,00	0,41	0,27	0,17	0,50	24,55	4,55	10,00	0,90	0,01	2,83	0,01
455367	7451716	69,20	23,20	6,71	24,00	30,28	85,00	25,70	35,23	0,00	0,67	0,29	0,02	0,50	6,64	3,26	1,90	0,90	0,01	3,14	0,01
455316	7453148	122,90	23,00	7,83	52,00	56,06	109,00	34,20	80,50	0,00	0,20	0,14	0,02	0,50	16,07	3,79	3,30	2,30	0,01	0,66	0,01
496267	7473682	x	23,80	7,05	83,00	76,36	149,00	51,50	87,47	0,00	3,26	0,01	0,45	0,50	17,98	6,54	5,51	0,79	0,01	10,43	0,01
199903	7278671	159,10	24,00	7,60	x	19,12	114,00	30,60	80,02	0,00	0,44	0,16	0,02	0,50	5,46	1,09	27,40	0,30	0,01	1,02	0,01
195936	7280774	109,10	23,10	8,38	x	43,85	110,00	41,50	80,74	0,00	0,22	0,13	0,02	0,50	17,47	0,05	10,20	0,50	0,03	0,19	0,01
198119	7272668	415,00	24,10	9,62	x	14,98	222,00	39,70	88,00	53,33	0,79	0,59	0,02	0,50	3,07	1,46	69,00	0,30	0,03	1,24	0,01
309435	7184681	334,00	21,70	9,90	179,00	3,75	232,00	41,10	86,20	61,04	0,05	0,01	0,12	4,47	1,07	0,27	72,00	0,40	0,01	<0,04	0,01
384684	7362510	254,00	22,00	6,45	104,00	114,22	218,00	62,40	125,50	0,00	6,49	0,19	0,28	0,50	31,87	9,97	7,50	0,40	0,01	23,87	0,01
302633	7308067	99,00	23,40	6,98	40,00	29,08	96,00	39,50	48,24	0,00	3,84	0,20	0,08	0,50	8,50	1,94	8,10	0,40	0,01	4,07	0,01
506573	7450586	144,50	23,40	7,65	60,00	65,02	146,00	59,90	79,07	0,00	2,65	0,22	0,02	0,50	17,25	5,08	6,70	0,80	0,01	5,48	0,01
247529	7154361	110,50	21,50	7,35	53,00	53,35	115,00	47,30	65,22	0,00	5,09	0,15	0,13	0,50	13,70	4,72	3,50	0,30	0,01	1,90	0,01
247382	7162746	175,80	21,70	7,01	75,00	78,35	154,00	52,00	89,11	0,00	0,03	0,12	0,21	0,50	22,25	5,62	5,20	0,50	0,01		0,01
311672	7097624	121,20	19,30	9,80	60,00	7,29	122,00	32,10	29,50	35,97	0,22	0,35	0,33	0,50	2,18	0,44	33,00	0,30	0,01	0,04	0,01
302743	7104031	101,70	20,20	6,89	50,00	27,63	92,00	30,60	59,06	0,00	0,38	0,01	0,35	0,50	6,67	2,60	11,80	0,50	0,01	3,40	0,01
396415	7141745	139,80	19,70	7,03	70,00	56,69	133,00	47,00	85,41	0,00	0,66	0,29	0,52	0,50	20,42	1,36	8,50	0,80	0,01	1,90	0,01
396101	7144564	97,90	20,00	7,11	50,00	42,62	107,00	45,30	62,43	0,00	0,16	0,20	0,65	0,50	14,69	1,41	4,90	1,60	0,01	0,44	0,01
457199	7364914	91,60	22,80	7,29	45,00	39,83	103,00	45,20	54,92	0,00	1,24	0,13	0,49	0,50	12,67	1,85	3,60	0,70	0,01	1,06	0,01
329069	7166950	54,40	19,80	6,30	13,00	18,71	38,00	8,80	16,37	0,00	1,13	0,23	0,02	0,50	1,47	0,97	5,23	1,70	0,90	11,49	0,01
460750	7422385	x	22,80	7,60	44,00	58,48	100,00	19,20	58,56	0,00	5,02	0,01	0,32	0,50	14,30	4,69	5,59	0,56	0,01	15,03	0,01
456765	7422934	x	23,10	7,08	118,00	175,00	255,00	23,40	144,94	0,00	42,89	0,01	0,23	11,50	44,55	12,98	12,32	0,66	0,01	19,01	0,01
457881	7419546	x	22,80	7,47	85,00	72,29	142,00	33,20	103,99	0,00	7,12	0,01	0,39	0,50	19,85	4,50	10,90	0,32	0,01	3,18	0,01
371769	7278282	117,10	20,30	7,30	60,00	53,81	111,00	39,70	72,78	0,00	0,64	0,07	0,02	0,50	16,67	2,89	5,50	0,10	0,01	1,77	0,01
319705	741222																				

X	Y	Condutividade (μS)	Tempetatura (°C)	pH	Alcal. (mg/L)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	SiO ₂ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻² (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Ca ⁺² (mg/L)	Mg ⁺² (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Fe ⁺² (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻² (mg/L)
327019	7143014	81,30	21,20	6,07	35,00	38,98	90,00	42,30	46,16	0,00	0,10	0,26	0,09	0,50	10,43	3,01	2,30	1,10	0,03	2,08	0,01
366180	7410702	157,70	23,50	6,65	54,00	68,64	156,00	69,80	71,11	0,00	2,95	0,27	0,02	0,50	13,94	8,05	4,40	0,80	0,01	12,82	0,01
210475	7239154	94,70	22,80	7,39	53,00	32,21	104,00	40,60	64,84	0,00	0,47	0,01	0,15	0,50	10,93	1,22	9,90	1,20	0,01	0,49	0,01
193903	7246745	201,00	22,90	7,83	110,00	66,00	171,00	44,90	135,37	0,00	0,47	0,02	0,09	0,50	20,79	3,48	18,40	0,50	0,19	1,11	0,01
443882	7421297	97,30	22,80	7,20	44,90	44,56	101,00	46,00	57,33	0,00	0,44	0,07	0,46	0,50	8,87	4,94	2,34	1,22	0,01	2,03	0,01
263772	7100628	219,00	21,40	8,82	121,00	9,39	155,00	41,30	101,87	19,02	4,54	0,56	0,08	0,50	3,41	0,22	42,00	0,20	0,07	1,64	0,01
263928	7102561	230,00	19,90	9,08	121,00	5,24	148,00	41,10	84,43	30,83	4,43	0,38	0,03	0,50	1,82	0,17	53,00	0,20	0,01	1,72	0,01
418850	7452921	123,70	23,30	7,47	52,40	47,52	137,00	61,90	68,14	0,00	3,00	0,12	0,61	0,50	12,84	3,23	6,50	1,24	0,01	5,83	0,01
163174	7250294	151,90	21,40	7,09	68,00	67,09	98,00	47,50	91,50	0,00	1,89	0,01	0,11	0,50	18,26	5,30	7,70	1,10	0,01	3,40	0,01
164081	7246442	124,00	21,30	7,12	60,00	54,34	119,00	46,70	72,55	0,00	1,31	0,01	0,14	0,50	14,73	4,33	5,50	0,70	0,01	1,99	0,01
406136	7496275	181,60	24,50	7,77	56,50	66,25	155,00	50,60	73,18	0,00	5,68	0,19	0,22	0,50	21,79	2,65	11,40	2,00	0,01	16,80	0,01
205117	7143642	204,00	22,60	9,46	100,00	4,49	138,00	31,40	33,66	38,47	0,10	0,25	0,05	0,50	1,47	0,19	45,60	0,30	0,01	<0,04	0,01
241506	7187390	238,00	24,00	6,51	76,00	100,68	170,00	48,10	90,50	0,00	8,35	0,01	0,35	0,50	23,76	10,19	4,70	1,20	0,01	19,67	0,01
412377	7241534	101,30	20,60	6,65	54,00	46,11	84,00	25,40	59,00	0,00	1,26	0,01	0,07	0,50	13,95	2,67	3,90	0,30	0,01	1,19	0,01
543704	7452185	190,40	23,40	8,00	95,00	67,38	174,00	56,20	115,00	0,00	4,05	0,44	0,02	0,50	23,41	1,94	15,00	0,50	0,01	3,05	0,01
236140	7224541	138,20	22,50	6,61	50,00	45,94	100,00	39,80	59,66	0,00	0,94	0,01	0,40	0,50	12,32	3,74	3,70	0,50	0,01	2,30	0,01
237906	7217546	168,90	23,60	8,09	95,00	57,11	154,00	43,20	117,42	0,00	0,05	0,01	0,19	0,50	16,55	3,89	19,10	0,40	0,01	0,62	0,01
351351	7419056	140,20	22,60	6,77	57,00	36,94	125,00	60,10	67,98	0,00	1,16	0,01	0,28	0,50	10,61	4,42	4,90	0,23	0,01	2,25	0,01
308800	7156604	284,00	22,60	9,50	150,00	7,70	229,00	39,60	117,67	34,79	5,22	0,63	0,06	6,30	1,36	1,02	69,00	0,40	0,07	<0,01	0,01
417443	7345473	386,00	24,40	7,84	155,00	61,64	289,00	44,40	193,71	0,00	13,62	2,04	0,16	12,27	20,45	2,36	59,20	0,20	0,01	18,03	0,01
173003	7192437	283,00	20,60	7,10	140,00	69,65	224,00	51,00	173,28	0,00	3,36	0,05	0,06	0,50	19,72	5,03	36,40	0,60	0,01	3,93	0,01
171270	7194961	301,00	21,30	9,50	158,00	6,82	222,00	45,90	93,15	49,73	0,51	0,19	0,02	0,50	1,62	0,68	66,80	0,20	0,01	0,71	0,01
174658	7194914	251,00	20,70	6,93	127,00	109,17	201,00	53,50	154,96	0,00	0,89	0,01	0,14	0,50	28,95	9,09	12,70	0,70	0,01	2,48	0,01
182450	7191455	202,00	20,70	8,66	107,00	20,65	174,00	45,90	108,32	13,92	0,47	0,02	0,04	0,50	7,96	0,19	39,40	0,40	0,01	0,93	0,01
178032	7187832	116,40	18,40	7,07	54,00	43,18	69,00	45,30	82,28	0,00	0,84	0,10	0,14	0,50	11,13	3,79	10,00	0,60	0,01	0,22	0,01
411587	7361488	382,00	22,30	6,54	145,00	177,19	306,00	64,00	176,53	0,00	15,37	0,18	0,25	0,50	55,97	11,55	10,10	0,50	0,01		0,01
404931	7370660	211,00	22,80	6,91	100,00	95,90	185,00	54,50	120,05	0,00	2,02	0,14	0,25	0,50	26,04	8,80	7,40	0,30	0,01		0,01
525184	7406479	278,00	23,30	7,45	140,00	96,25	219,00	52,90	167,27	0,00	3,04	0,28	0,23	0,50	31,91	3,69	23,60	0,90	0,01	1,77	0,01
337426	7396913	159,30	24,30	7,05	55,00	73,19	154,00	49,40	68,38	0,00	4,91	1,45	0,27	0,50	20,13	6,56	4,20	1,30	0,01	24,75	0,01
338440	7155861	235,00	21,90	7,26	93,00	22,05	182,00	39,50	138,95	0,00	1,74	0,23	0,02	0,50	8,25	0,34	47,60	1,40	0,01	<0,04	0,01
193960	7186388	147,90	21,60	6,75	70,00	67,18	95,00	46,50	92,00	0,00	0,84	0,01	0,11	0,50	17,74	5,64	7,80	1,00	0,01	4,20	0,01
193261	7189866	199,40	21,10	7,51	98,00	61,35	171,00	51,80	120,45	0,00	1,05	0,01	0,17	0,50	17,54	4,33	19,60	0,60	0,01	3,80	0,01
153409	7182639	191,90	20,80	9,37	120,00	12,55	163,00	41,90	68,76	31,95	0,63	0,10	0,08	0,50	4,28	0,46	41,20	0,40	0,01	0,40	0,01
159305	7185094	120,90	20,30	7,15	65,00	35,07	118,00	43,00	79,63	0,00	0,74	0,01	0,13	0,50	10,61	2,11	13,00	0,60	0,01	0,49	0,01
226953	7115391	173,30	20,20	7,01	89,00	77,96	157,00	47,70	108,07	0,00	5,85	0,11	0,10	0,50	22,45	5,40	7,50	0,40	0,01	2,48	0,01
327657	7157653	201,00	23,90	9,07	122,00	8,36	148,00	44,00	68,22	15,43	1,08	0,39	0,03	0,50	2,89	0,27	42,20	0,30	0,01	0,44	0,01
355119	7369252	140,50	23,30	7,40	71,00	59,49	139,00	47,70	88,77	0,00	0,87	0,11	0,29	0,50	21,10	1,73	8,10	0,70	0,01	5,08	0,01
358795	7377825	51,80	24,40	6,33	22,00	19,37	70,00	37,40	27,86	0,00	1,31	0,18	0,25	0,50	6,20	1,22	2,30	0,70	0,01	3,32	0,01
182693	7319793	93,10	23,20	6,98	48,00	39,12	106,00	47,90	59,78	0,00	0,48	0,45	0,30	0,50	10,08	3,57	5,40	0,90	0,01	0,80	0,01
193103	7301169	107,40	23,80	8,03	54,00	29,54	113,00	43,80	72,04	0,00	0,58	0,57	0,25	0,50	8,91	1,92	12,20	1,10	0,01	<0,04	0,01
223765	7257050	183,00	25,30	6,61	70,00	66,89	133,00	38,10	82,79	0,00	2,77	0,01	0,24	0,50	19,32	4,59	6,70	0,70	0,02	10,83	0,01
222829	7257105	180,30	24,10	6,83	69,00	64,81	135,00	40,50	85,06	0,00	2,35	2,00	0,28	0,50	19,72	3,84	10,00	0,60	0,01	4,99	0,01
223857	7261092	254,00	27,20	6,54	85,00	95,64	172,00	41,10	104,40	0,00	7,36	0,01	0,37	0,50	28,35	6,13	10,80	0,80	0,01	11,93	0,01
224207	7262095	173,80	23,40	7,00	69,00	47,72	125,00	36,00	84,81	0,00	1,72	0,28	0,24	0,50	13,46	3,48	14,20	0,50	0,01	4,69	0,01
226126	7262449	213,00	24,40	6,79	76,00	74,10	153,00	39,50	97,57	0,00	4,33	0,01	0,29	0,50	22,25	4,57	10,10	0,70	0,03	12,55	0,01
224860	7268621	131,50	25,80	8,97	60,00	26,48	108,00	34,40	63,20	5,47	0,57	0,03	0,14	0,50	10,02	0,36	14,30	3,90	0,01	1,02	0,01
234824	7269012	254,00	24,60	9,93	125,00	4,05	178,00	38,10	133,47	5,72	1,15	0,22	0,23	0,50	1,11	0,32	50,40	0,40	0,02	0,18	0,01
269703	7176842	170,30	21,70	7,66	82,00	54,93	113,00	37,90	76,72	0,00	4,65	0,17	0,15	0,50	14,30	4,74	4,70	0,40	0,01	0,57	0,01
274962	7174088	148,40	21,70	9,72	73,00	4,45	116,50	28,30	37,92	26,73	4,05	0,51	0,03	0,50	1,62	0,10	34,00	0,10	0,09	0,13	0,01
246539	7278095	57,50	22,80	6,27	30,00	26,02	33,00	0,10	29,11	0,00	0,56	0,33	0,15	0,50	7,92	1,46	1,60	0,70	0,01	2,25	0,01
245158	7279265	89,30	24,50	8,67	47,00	19,02	80,00	31,60	34,11	7,72	0,28	0,41	0,12	0,50	7,04	0,34	11,20	0,60	0,01	0,57	0,01
444914	7230158	141,70	18,40	7,89	66,00	55,15	125,00	41,20	81,08	0,00	1,35	0,35	0,03	0,50	19,18	1,73	9,80	0,50	0,01	2,52	0,01
287682	7292642	146,40	21,50	8,53	75,00	24,95	137,00	39,90	74,97	8,83	3,84	0,29	0,06	0,50	8,70	0,80	25,00	0,50	0,01	4,64	0,01
520255	7433800	389,00	23,60	7,66	135,00	126,36	290,00	66,40	179,17	0,00	14,35	0,53	0,25	8,80	37,34	7,58	28,40	0,90	0,01	17,68	0,01
308401	7136653	263,00	22,80	9,90	110,00	2,46	220,00	39,60	67,94	50,40	2,52	0,57	0,39	16,44	0,91	0,05	68,00	0,40	0,04	0,04	0,01